

Aus der konservierenden Abteilung (Leiter: Prof. Dr. J. Kluczka)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. F. Jung)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Auswirkungen der Heißluft- und
Äthylenoxyd-Sterilisation auf die Schneidefähigkeit
zahnärztlicher Hartmetallbohrer u. Diamantschleifer
in höchsttourigen Drehzahlbereichen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Würde eines
DOKTORS DER ZAHNHEILKUNDE
DER HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER JOHANNES GUTENBERG-UNIVERSITÄT MAINZ

vorgelegt von

Karl E. Hofmann
Zahnarzt

aus Gundheim bei Worms

Mainz 1963

1964

Aus der konservierenden Abteilung (Leiter: Prof. Dr. J. Kluczka)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. F. Jung)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Auswirkungen der Heißluft- und
Äthylenoxyd-Sterilisation auf die Schneidefähigkeit
zahnärztlicher Hartmetallbohrer u. Diamantschleifer
in höchsttourigen Drehzahlbereichen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Würde eines
DOKTORS DER ZAHNHEILKUNDE
DER HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER JOHANNES GUTENBERG-UNIVERSITÄT MAINZ

vorgelegt von
Karl E. Hofmann
Zahnarzt
aus Gundheim bei Worms

Mainz 1963

Dekan:

Prof. Dr. K. Thomsen

Referent:

Prof. Dr. J. Kluczka

Tag der mündl. Prüfung:

11. Juni 1964



IN DANKBARKEIT MEINEN ELTERN.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	S. 5
Das Hartmetall in der Zahnheilkunde	S. 6
Der Diamant in der Zahnheilkunde	S. 11
Die Sterilisationsmethode Heißluft	S. 15
Die Sterilisationsmethode Aethylenoxyd	S. 16
Experimenteller Teil	S. 18
Versuchsanordnung und Materialien	S. 18
Statistische Methode	S. 21
Hartmetall	S. 25
Versuchsreihe Hartmetall	S. 38
Diamanten	S. 54
Versuchsreihe Diamanten	S. 63
Zusammenfassung	S. 76
Literaturverzeichnis	S. 77
Lebenslauf	S. 84

Einleitung

Es ist heute eine allgemein anerkannte Forderung, daß in der zahnärztlichen Praxis alle Instrumente sterilisiert werden sollten. Deshalb ist es gerade für den Zahnarzt von Bedeutung, das Gebiet der Sterilisationsmöglichkeiten zu studieren und die Anwendungsmöglichkeiten für seinen Bereich festzustellen.

Da eine wirkliche Sterilisation, d.h. die vollkommene Abtötung aller Keime und ihrer Dauerformen bis heute nur auf physikalischem Wege (Heißluft und Autoklav) oder, wenn schon chemisch (Aethylenoxyd), so doch mit physikalischen Hilfsmitteln möglich ist, taucht die Frage auf: Wird das Schneidevermögen des Instrumentenmaterials durch die gebräuchlichen Sterilisationsverfahren beeinflußt? Das Problem, das für die zahnärztliche Praxis von großer Bedeutung ist, hat in dem speziellen Fall der Entkeimung der Hartmetallbohrer und der Diamantschleifkörper in der Fachliteratur bis jetzt nur wenig Beachtung gefunden. Für den Fall, daß das Instrumentarium durch wiederholte Sterilisation eine Minderung des Schneidevermögens erfährt, wäre es für den Zahnarzt von Gewinn zu wissen, mit welcher Sterilisationsmethode er in bezug auf die geringste Güteminderung am rationellsten arbeitet, ohne jedoch die vollkommene Sterilisation außer acht zu lassen.

In der folgenden Arbeit soll nun untersucht werden, welchen Einfluß die Sterilisationsverfahren Heißluft und das sog. "Mainzer Verfahren" (Aethylenoxyd) auf die Schneidefähigkeit der zahnärztlichen FG^{x)}-Hartmetallbohrer und FG-Diamantschleifer ausüben. Es werden im Versuch die Leistung der Bohrer und Schleifer geprüft und die Auswirkungen der verschiedenen Einflüsse aus den Ergebnissen ermittelt.

x) FG = Bezeichnung für "friction-grip" = Reibungssitz, das Befestigungsprinzip der Turbineninstrumente in ihrer Halterung.

Zunächst möchte ich nun einiges zu den verwendeten Materialien und den Sterilisationsmethoden, die angewandt wurden, bemerken.

Das Hartmetall in der Zahnheilkunde

Als am 30. März 1923 von der Osram-Studiengesellschaft für ihren Erfinder KARL SCHRÖTER das Patent DRP 420.689 angemeldet wurde für eine "gesinterte harte Metallegierung und Verfahren für die Herstellung" (nach ISENBERG²⁹⁾) aus Original-Patent), war damit die Grundlage geschaffen für den dann einsetzenden raschen Auf- und Ausbau der Pulvermetallurgie, d.h. für die Herstellung von Hartmetallen.

Eine kurze, klare Erklärung über den Begriff "Pulvermetallurgie" gibt ISENBERG²⁹⁾: "Wenn man von der Erzeugung metallischer Körper spricht, drängt sich unwillkürlich die Vorstellung eines Schmelz- oder Gießprozesses auf, durch den der Metallkörper seine Form erhalten soll. Fast alle Gegenstände aus Metall, die heute im Gebrauch sind, haben einen solchen Prozeß durchgemacht. Um so interessanter ist es nun, einen anderen Weg kennenzulernen, der ohne das übliche Schmelz- und Gußverfahren zu Metallgegenständen führt. Diesen Weg beschreitet die Pulvermetallurgie. Ausgangsstoff in der Pulvermetallurgie ist, wie es schon im Namen gekennzeichnet ist, das Pulver eines Metalls. Dieses wird mit oder ohne Druck zusammengefügt und bei einer Temperatur unterhalb des Schmelzpunktes in einem Sintervorgang verfestigt. Es entstehen so Metallstücke, die besondere Eigenschaften aufweisen".

Mit diesem Patent wurde nun nicht etwas grundlegendes Neues angemeldet, sondern es wurde ein schon Jahrhunderte lang bekanntes Verfahren mit Hilfe der größeren Erkenntnisse heutiger Pulvermetallurgen wissenschaftlich fundiert.

Schon im Nibelungenlied und in der Siegfriedsage finden wir eine genaue Beschreibung des Verfahrens, Sinterstahl aus StaHPulver zu gewinnen, denn Schmied Wieland stellte das Schwert Mimung aus zerfeiltem Stahl her. CLAESSENS¹¹⁾ bringt ein Beispiel, mit dem wir Zahnärzte täglich zu tun haben: Sintern, d.h. Zusammenpressen von Metallpulvern kann man schon das Stop-

fen von Amalgam nennen. Es hat auch denselben Erfolg; es entsteht ein Körper von merklicher Festigkeit. Was die alten Ägypter und die Germanen durch das Hämmern ihrer noch nicht geschmolzenen Eisenklumpen bewirkten, konnte dann Ende des 19. / Anfang des 20. Jahrhunderts technisch vervollkommen werden, als man durch die technischen Fortschritte in der Industrie lernte, die nötigen hohen Temperaturen von über 2000° C sicher zu beherrschen.

Der Amerikaner COOLIDGE entwickelte 1908 das Sinterverfahren zur technischen Brauchbarkeit, und im Anschluß daran stand der Entwicklung der heutigen Hartmetalle nichts mehr im Wege.

"Hartmetall ist ein Werkstoff, der auf der Basis von hochharten Metallkarbiden, wie Wolfram-, Titan- und Tantalkarbid aufgebaut ist. Das Besondere ist, daß es vollkommen eisenfrei ist und nicht - wie fast alle bekannten Metallgegenstände - gegossen, sondern gesintert wird, d.h. die pulverförmigen Ausgangsstoffe werden gepreßt, wobei sie bei oder nach dem Pressen ihre Form erhalten, und dann in einem Sinterprozeß metallisiert werden. Damit aber kennzeichnet es sich als ein Erzeugnis aus dem Gebiet der Pulvermetallurgie und unterscheidet sich chemisch und herstellungsmäßig grundsätzlich von Stahl. Seine vorzüglichen Eigenschaften sind höchste Härte, Warmhärte und Verschleißfestigkeit, die bedeutend höher sind als bei den bisher benutzten Schnelldrehstählen. Allerdings wurde diese hohe Härte auf Kosten der Zähigkeit erkaufte, die geringer ist als beim Schnellstahl. Dennoch ist es zum Schneidstoff prädestiniert, weil mit ihm Schnittgeschwindigkeiten erzielt werden können, die die früher möglichen Fertigungszeiten auf einen Bruchteil reduzierten" (ISENBERG²⁹). Die Vor- und Nachteile des Hartmetalls sind also: Härte und Verschleißfestigkeit in bisher nicht gekanntem Ausmaß; der gesuchte Ersatzstoff für Diamant ist gefunden - dafür muß man aber geringe Zähigkeit und hohe Gestehungskosten durch teures Ausgangsmaterial und diffiziles Herstellungsverfahren in Kauf nehmen.

Doch nahm nach 1923 die Entwicklung einen raschen Fortgang. Das Hartmetall wurde zu solch einer technischen Reife gebracht, daß

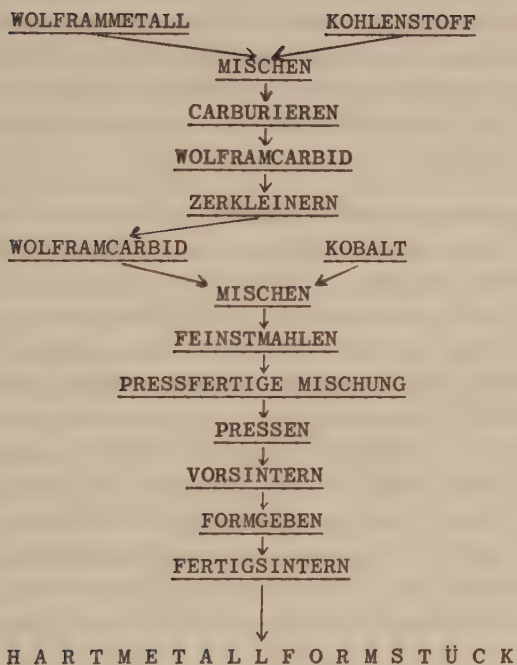
es 1926 auf der Leipziger Messe als "WIDIA" - Wie DIAMant - von der Firma Krupp, Essen, gezeigt, von da an als deutsches Hartmetall seinen Siegeszug in die Welt antrat.

Von der allgemeinen Pulvermetallurgie und den Hartmetallen möchte ich jetzt näher eingehen auf das in der Zahnmedizin verwandte Hartmetall "Wolframcarbid". Man nennt zwar so die Bohrer, aber damit zählt man nur einen Legierungsanteil auf. "Die gesinterten Hartmetalle setzen sich zusammen aus einem oder mehreren hochschmelzenden Karbiden als Härteträger und einem niedriger schmelzenden Hilfsmetall - insbesondere Kobalt -, das die Sinterung begünstigt und der Legierung die notwendige Zähigkeit vermittelt" (HINNÜBER²⁵).

Abb. Nr. 1 zeigt das Herstellungsschema für Hartmetall. Wolfram und Kohlenstoff werden feinst gemahlen. Damit treten schon die ersten Schwierigkeiten auf, "da von Größe und Gleichmäßigkeit der Körner der richtige Ablauf weiterer Vorgänge abhängt. Die Korngröße soll etwa 1 - 4 Mikron (1 Mikron = 1/1000 mm) betragen" (CLAESSENS¹¹).

Wolframpulver und Kohlenstoff werden dann in einer Schutzgasatmosphäre hoch erhitzt ($1500 - 2000^{\circ} \text{C}$). Dabei wird Wolfram carburiert, d.h. in Monowolframcarbid (MC) mit einem Kohlenstoffgehalt von 6,1 % übergeführt. Die kleinen koksähnlichen Stücke werden dann wieder über mehrere Stufen verkleinert und mit reinem Kobaltpulver vermenzt. Dabei hängen auch wieder von der Feinheit der Körnung und der Innigkeit der Mischung mit Kobalt die Eigenschaften des Endproduktes ab.

Das pulverförmige Rohstoffgemisch wird dann in einer Schutzgasatmosphäre bei relativ niedrigen Temperaturen ($850 - 1000^{\circ} \text{C}$) und hohen Drucken ($200 - 5000 \text{ kg / cm}^2$) einer Pressung und Vorsinterung unterworfen. Anschließend werden die Rohlinge auf ihre endgültige Form geschliffen, wobei noch zu beachten ist, daß bei dem Fertigsintern ein linearer Schwund von 20 - 30 % eintritt. Bei dem Fertigsintern, das "je nach Zusammensetzung des Hartmetallpulvers bei Temperaturen zwischen 1350 und 1700°C liegt, wachsen die Wolfram-Carbidkristalle unter Mitwirkung des Kobalts als Lösungsmittel zu einem mehr oder weniger festen



Schema der Hartmetallherstellung

nach WITTHOFF aus ISENBERG 29)

Gerüst zusammen, dessen Lücken durch das Kobalt ausgefüllt werden" (Dawihl, W. u. J. Hinnüber, zitiert nach HINNÜBER²⁵⁾). Jetzt kann man das Endprodukt nur noch mit Diamantscheiben beschleifen.

Da bei der letzten Sinterung sorgfältigste Einhaltung aller Arbeitsbedingungen nötig ist, sind Güteunterschiede innerhalb einer Hartmetallsorte schon bei den geringsten Unachtsamkeiten möglich. Die genaue Zusammensetzung der Hartmetalle für die einzelnen Bohrertypen ist verständlicherweise Fabrikgeheimnis. Doch übersteigt der Kobaltgehalt meist nicht 10 %.

Das letzte Problem bis zum fertigen Bohrer ist dann das Lötproblem. Es wäre ja eine unnötige Verteuerung, den ganzen Bohrer aus Hartmetall herzustellen. So sind denn nur die Arbeitsköpfe, d.h. die schneidenden Teile aus Hartmetall und die Schäfte aus Stahl. Da zwischen den beiden Teilen beim Erhitzen die Wärmeausdehnung sich wie 1:2 verhält, entstehen starke Spannungen und in dem spröden Hartmetall Risse. Um diese Gefahr zu vermindern, verwendet man heute Speziallote mit niedrigen Löttemperaturen - meist Kupfer- oder Silberlote. Aber damit ist das Problem noch nicht zufriedenstellend gelöst. Hinzu kommt noch, daß sich die Lötstelle am Bohrerhals befindet, der Stelle, die durch ihren geringen Durchmesser am meisten beansprucht ist. Wie ich selbst feststellen konnte, besteht hierin auch heute noch eine gewisse Bruchgefahr.

Es ist nun doch verwunderlich, daß es bei den vorteilhaften Eigenschaften des Materials 25 Jahre dauerte, bis es zur Verwendung in der Dentalindustrie kam. 1950 tauchten im Ausland die ersten Hartmetallbohrer unter dem Namen "Tungsten Karbid" auf. Die zunächst nur zögernde Aufnahme änderte sich bald. Mit der Erfindung der Luftturbine und ihrer hohen Schnittgeschwindigkeit von 12 m / Sek. war dann eine ideale Anwendungsmöglichkeit für das leistungsfähige Hartmetall gegeben, bei dem man eher die Schnittgeschwindigkeit als den Vorschub erhöhen sollte. Allerdings sind, um Ärger zu vermeiden, nach BONSACK⁹⁾, EICHNER¹⁵⁾ und FUHR¹⁹⁾ einige Regeln bei der Anwendung von Hartmetallbohrern zu beachten:

1. sie dürfen nie hebelnd benutzt werden,
2. sie sollten doch vorwiegend im Dentin bohren,
3. sie sollten nur in einwandfreien Lagerungen benutzt werden

(Imperator; beim Airotor häufiges Wechseln des Futters) und
4. es sollte kein allzu großer Druck angewandt werden.

Bei Beachtung dieser Regeln kann der Zahnarzt die hervorragenden Eigenschaften seines Bohrmaterials voll ausnutzen, das - wie aus der Literatur bei BARTLING⁴⁾, BONSAK⁹⁾, EICHNER¹⁵⁾, GASSMUS²¹⁾, HUPFER²⁸⁾, MENTLER³⁹⁾, SCHILLER und WLCEK^{49, 50, 51)} ersichtlich - die 10 - 20-fache Leistung der bisherigen Stahlbohrer zeigt.

Über die Sterilisationsmöglichkeiten geben die Herstellerfirmen für Hartmetallbohrer einige Hinweise. Die Bohrer sollen zunächst mechanisch gereinigt werden, und dann könnten sie bei Temperaturen bis zu 200° C in Öl sterilisiert werden. 450° C sollen noch keinen schädigenden Einfluß haben. Die Untersuchungen von ADLER¹⁾ und WEBER⁵⁸⁾ besagen, daß man Hartmetall auf keinen Fall mit Jod und H₂O₂ in Berührung bringen dürfe. Tinctura jodi löst das Hartmetall auf. Ebenso schädigen Lösungen quarternärer Ammoniumsalze die Materialgüte. WEBER⁵⁸⁾ sagt hierzu, daß die Sterilisation der Hartmetallbohrer nur mit rein physikalischen Sterilisationsverfahren durchgeführt werden darf. Heißluft, gespannter Dampf und Auskochen mit Überdruck ohne Zusatz sollen keinen schädigenden Einfluß haben. Allerdings hat er hierzu keine eigenen Untersuchungen durchgeführt. Über die Auswirkungen von Aethylenoxyd auf Turbinenbohrer und -schleifer ist bisher noch nichts bekannt.

Der Diamant in der Zahnheilkunde

Auf der Suche nach einem harten und dauerhaften Schleifwerkstoff für die Bearbeitung des Zahnschmelzes kam man auch auf den härtesten Stoff, den die Natur uns bietet, auf den Diamant. In der Industrie wird der Diamant als Bort (= Rohdiamant) oder als Diamantpulver aus weniger wertvollen Diamanten schon lange verwendet. Diese Diamanten sind insofern weniger wertvoll, als ihre Reinheit nicht gut genug für Schmuckstücke ist. Sowohl in der Industrie als auch ganz besonders bei der Verwendung in der Zahnheilkunde gab es das Problem, die Diamanten auf dem Werkzeug aus Eisen oder Stahl anzubringen. Zuerst befestigte man die Kristalle durch vorsichtiges

Einpressen, Einhämmern oder Einwalzen in eine weichere Grundmasse. Daß dieses Herstellungsverfahren nicht ideal war, läßt sich leicht erkennen. Schon bei der Werkzeugherstellung litten die Diamanten; die Schneidequalität ließ zu wünschen übrig, da eine Ausrichtung der Splitter kaum möglich war und sie meist auch zu wenig die Oberfläche der Grundmasse überragten. Der rasche Ausbruch und Verlust der Kristalle machte das Werkzeug außerdem unrentabel. So wurde nach einer Methode gesucht, die Diamanten entsprechend hart und dauerhaft zu befestigen. Man nahm dazu zunächst niedrig schmelzende Lote. Bei weiterer Verbesserung kam man zu der elektrolytischen Abbindung der Diamanten. Man machte sie durch Behandlung mit Metallsalzen oder Graphit elektrisch leitend und verband Diamant und Grundkörper in einem elektrolytischen Bad durch ein abgeschiedenes Metall.

So konnte die Industrie - und als erste die Firma DRENDEL & ZWEILING¹³⁾, Berlin, - das hochwertige Schleifmittel 1932 in den Dienst der Zahnheilkunde stellen. Damit war die Möglichkeit gegeben, auch den Zahnschmelz schnell und schonend bei geringer Wärmeentwicklung zu bearbeiten. Die volle Ausnutzung der Schleifleistung ergab sich dann aber erst mit der Möglichkeit höherer Tourenzahl und damit die Erreichung der Schnittgeschwindigkeit von 700 m / Min., die HUET schon 1932 gefordert hatte.

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Wirkungsweise der Diamantschleifkörper:

1. die Diamantqualität,
2. die Korngröße,
3. die Art des Bindemittels,
4. die Diamantkonzentration = Kornzahl.

Dies sind überhaupt die allgemeinen Kennzeichen einer Schleifscheibe.

Die Diamantqualität ist nicht einheitlich. Obwohl die Diamanten chemisch aus dem gleichen Grundstoff, reinem Kohlenstoff, bestehen unterscheiden sie sich in ihrer Härte und Zähigkeit je nach Fundort. Hauptfundorte sind Brasilien, Südafrika und der Kongo. Die härtesten Diamanten sind die Karbone aus Brasilien, die aber fast

nur zu Spezialzwecken in der optischen Industrie und in der Edelschleiferei verwendet werden. Als Industrieschleifmittel kommt hauptsächlich Diamantbort = kleinere Diamantkristalle zur Verwendung. Je nach Verwendungszweck hat man die Möglichkeit, zwischen afrikanischen oder brasilianischen Borts zu variieren.

Neben der Qualität der Diamanten ist für die Schleifleistung die Größe des einzelnen Diamantkorns entscheidend. Entweder es wird Bort direkt verwendet, d.h. relativ große Kristalle, oder es werden Diamanten in Mörsern zerstoßen, dann nach Korngrößen gesiebt und aussortiert. Dieses Material nennt man Diamantpulver. Ganz feines Pulver wird durch Schlämmen getrennt. "Die Größe der Diamantkristalle ist sowohl für die bei dem Bearbeitungsprozeß in der Zeiteinheit abgenommene Materialmenge als auch für die Oberflächenqualität des bearbeiteten Werkstückes maßgebend. Die Arbeitsleistung steigt gewöhnlich mit den Korngrößen der Diamanten, während die Oberflächenbeschaffenheit mit abnehmender Korngröße besser wird. Für Grobschliff und zum Abtragen größerer Materialmengen eignen sich Diamantkörnungen von 0,15 - 0,5 mm, während für feine Arbeiten Körnungen von 0,15 - 0,05 mm bevorzugt werden" (KIEFFER und HOTOP³⁰⁾).

In der Zahnmedizin werden bevorzugt bei den Turbinenschleifern sehr grobe Körnungen verwendet. Dies wirkt sich zwar leistungssteigernd aus, aber die Oberflächengestaltung läßt dabei sehr zu wünschen übrig. Nach der Präparation eines Zahnes ist unbedingt ein Nacharbeiten - wie dies auch EICHNER^{15, 16)}, FEZER^{17, 18)} und KRUMMHOLZ³⁵⁾ zum Ausdruck bringen - mit den meist feiner gekörnten niedertourigen Schleifern oder mit Sandpapierscheiben erforderlich.

Für die Dauerleistung ist das Bindemittel von entscheidender Bedeutung. Das Bindemittel muß das Diamantkorn so auf dem Träger festhalten, daß die Kristalle sowohl möglichst weit mit ihrer Spitze hervorragen als auch bis zu ihrem restlosen Verbrauch benutzt werden können. Diese restlose Ausnutzung war früher nach der alten Methode nicht möglich.

Bei dem derzeitigen Herstellungsverfahren hat man die Möglichkeit, die Diamantkörner so zu befestigen, daß Spitzen und Kanten der

Kristalle in ihrer ganzen Schärfe erhalten bleiben. Und nicht nur das, man kann sie auch gleichmäßig auf dem Schleifmittelträger verteilen und erreicht damit eine volle Ausnutzung des kostbaren Materials. Von Wichtigkeit ist auch das weite Herausragen der einzelnen Kristalle; dadurch können sie nicht nur besser in das zu bearbeitende Objekt eindringen, es ist auch ein besserer Abtransport des Schleifstaubes möglich. Infolgedessen verschmieren die Schleifer nicht so leicht. Wäre dies nicht der Fall, so würde die Schleifleistung rasch absinken und die Wärmeentwicklung, ein wichtiger Faktor am lebenden Zahn, durch Vergrößerung der Reibungswärme steigen.

Als Diamantkonzentration bezeichnet man die Kristallzahl pro Flächeneinheit. Damit ist eigentlich sehr wenig ausgesagt, denn die Korngröße spielt hier entscheidend mit. "Je höher man die Konzentration bei gleicher Korngröße wählt, umso größer wird der Anteil der wirksamen Diamantspitzen. Einer Erhöhung der Schleifleistung durch erhöhte Diamantkonzentration sind jedoch Grenzen gesetzt, da mit zunehmender Konzentration der Abtransport des Schleifstaubes zunehmend verschlechtert wird" (SAENGER⁴⁷⁾). D.h. trotz erhöhter Diamantmenge und damit auch höherem Preis sinkt die Leistung. Eine Wirtschaftlichkeit ist nicht mehr gegeben.

Andererseits bedeutet eine geringe Konzentration zwei Möglichkeiten: entweder es sind kleine Kristalle, dann ist die Schleifleistung zwar relativ gering, aber die Oberflächengüte des bearbeiteten Stoffes umso besser, oder es sind große, grobe Kristalle, dann ist die Schleifleistung groß - noch begünstigt durch den guten Abtransport des Schleifstaubes -, die Oberfläche aber fast schon im makroskopischen Bereich mit Rillen versehen und scharti wie dies FEZER¹⁸⁾ feststellte. Sie muß also nachbearbeitet werden.

So bestimmen also nicht nur die Diamantkristalle pro Flächeneinheit, sondern auch die Korngröße den Charakter eines Schleifers, und es ergeben sich daraus die beiden Extreme:

Hohe Konzentration bei kleinem Korn
(geringe Leistung, feiner Schliff und auch schnelle Abnützung) und

geringe Konzentration bei großem Korn
(hohe Leistung, rauhe Oberfläche und längere
Lebensdauer).

Die Dental-Diamantschleifkörper für Turbinen haben eine geringe Konzentration und ein grobes Korn. Daraus ergeben sich hohe Schleifleistung, guter Abtransport des Schleifgutes, geringe Verschmierung und Wärmeentwicklung; Faktoren also, die zur Wirtschaftlichkeit beitragen.

Die Vervollkommnung des diamantierten Schleifers brachte einen großen Fortschritt in der schnell und schonend durchzuführenden Zahnbehandlung. Er leistet im Trocken- wie im Naßschliff mehr als die bisher üblichen keramischen Schleifer. Er hat eine längere Lebensdauer, ist angriffsfreudiger und zeigt eine geringere Wärmeentwicklung. Für dieses dem Zahnarzt unentbehrliche Instrument sollen mit dieser Arbeit Richtlinien gegeben werden, ob und auf welche Weise es am schonendsten sterilisiert werden kann.

Die Sterilisationsmethode Heißluft

Bei der Sterilisation auf physikalischem Wege handelt es sich praktisch um die Anwendung hoher Temperaturen in verschiedener Form. Bei der einen von mir angewandten Sterilisationsart wird das Ziel durch Verwendung trockener Hitze in Gestalt von heißer Luft erreicht. Die Geräte dazu sind die Heißluftsterilisatoren. Diese Methode hat wegen der Einfachheit ihrer Handhabung heute eine breite Anwendung gefunden. Bei der Verwendung der Heißluftsterilisation sind nach BERGER^{6, 7)} einige Grundregeln zu beachten:

- . Das Anwendungsgebiet der Heißluftsterilisation ist die Entkeimung unverbrennbaren Materials, d.h., es ist eine Auswahl nötig.
- . Die Sterilisiertemperatur beträgt bei Anwendung von Heißluft 180° bis 200° C - die reine Sterilisierzeit entsprechend 45 bzw. 30 Minuten.
- . Je nach Art der Beschickung ist die Betriebszeit verschieden.

Sie muß für jeden Apparat individuell festgelegt werden.

4. Öffnen des Apparates während des Betriebes zum Zwecke einer Entnahme oder des Einlegens von Instrumenten ist unbedingt zu unterlassen.

Die Temperatur soll nicht unter 180°C und nicht über 200°C betragen. Dabei sind auch mit eingebauter Luftumwälzung bei 180°C 45 Minuten bei 200°C 30 Minuten Temperatureinwirkung zu verlangen.

Zum Wirkungsmechanismus der Heißluft sagt BERGER⁶⁾, daß der Effekt außer in einer Austrocknung offenbar noch in einer spezifischen Wärmewirkung besteht. Denn wäre die Austrocknung allein maßgebend, dann müßte eine kurzzeitige Behandlung bei 100°C als Sterilisation genügen, was aber keineswegs der Fall ist. Es ist also nicht allein die Temperatur der maßgebende Faktor bei der Sterilisation, sondern das Medium, das der Träger dieser Temperatur ist.

Entsprechend den Erfordernissen der Heißluftsterilisation ist auch der von mir verwendete Apparat (Heißluftsterilisationsapparat mit eingebauter Luftumwälzung) gebaut.

Die Heißluftsterilisation ist - lege artis angewandt - eine vielerprobte, absolut sichere Methode, die allen heutigen Anforderungen entspricht (BERGER^{6, 7)}, KLUCZKA³²⁾, RIESSNER⁴⁶⁾, SAUERWEIN⁴⁸⁾).

Als eine der beiden in Frage kommenden Methoden in meinen Untersuchungen wurde sie angewandt, weil sie

1. absolut sicher,
2. weitverbreitet,
3. einfach zu handhaben und
4. mit hohen Temperaturen im Gegensatz zu der nun folgenden Aethylenoxyd-Sterilisation verbunden ist.

Die Sterilisationsmethode Aethylenoxyd

Das andere von mir verwendete Sterilisationsverfahren beruht auf einem chemischen Mittel, das mit physikalischen Hilfsmitteln zur

vollen Wirkung gebracht wird.

Auf der Suche nach einem chemischen Sterilisationsmittel erwies sich aus der Reihe der bakteriziden Gase vor allem das Äthylenoxyd als brauchbar. Nach GEWALT²²⁾ kamen schon 1928 Verwendungsvorschläge, doch stand zunächst die insektizide Wirkung im Vordergrund.

Bei den späteren Versuchen, eine brauchbare Methode zu finden, störten vor allem die unangenehmen Eigenschaften des Gases, so die Fähigkeit, z.B. mit Luft ein explosives Gemisch zu bilden. Es bereitete Schwierigkeiten, eine brauchbare Konzentration herzustellen. Dann war außerdem der Sterilisationseffekt je nach Feuchtigkeitsgrad und Temperatur unsicher.

Es gelang dann doch, mit Äthylenoxyd ein brauchbares Verfahren zu entwickeln, das einer zielgerechten Prüfung standhält. Der apparative Aufwand hält sich dabei in Grenzen, und der Arbeitsvorgang schaltet die Gefahren und Nachteile des Gases aus. Es ist das von GEWALT^{22, 23)} und LAMMERS^{zit. nach 22, 23)} entwickelte Verfahren, welches mit gespannten, nicht brennbaren Äthylenoxyd-CO₂-Gemischen arbeitet. Es nennt sich "Mainzer Sterilisationsverfahren" oder "Sterivit-Verfahren".

Dieses neue Verfahren beruht nach GEWALT²²⁾ auf der Erkenntnis, daß der bakterizide Effekt des Äthylenoxyds um ein Vielfaches gesteigert werden kann, wenn man das Gas bei höheren Drucken einwirken läßt, d.h. am vorteilhaftesten bei 3 - 6 kg / cm². Die Explosivität des Gases ist durch Mischung mit dem inerten (indifferenten) Gas CO₂ beseitigt, dessen Anteil mindestens 83 % beträgt. Die Betriebstemperatur ist 55° C im feuchten Milieu. Der Wirkungsmechanismus des beim Arbeiten mit gespannten Äthylenoxyd-CO₂-Gemischen beobachteten erheblich gesteigerten bakteriziden Effektes ist noch nicht restlos geklärt. Es muß jedoch angenommen werden, daß der Kohlensäure die Rolle einer Hilfsfunktion zukommt, welche die schädliche Reaktion, die das Äthylenoxyd an den lebenswichtigen Proteinkomplexen innerhalb der Bakterienzelle bewirkt, erheblich beschleunigt.

Der Sterilitätswert ist schon mehrfach untersucht und für einwand-

frei befunden worden (Mainzer Hygiene-Institut, Robert-Koch-Institut Berlin). Daß Aethylenoxyd zahnärztliche Bohrer und Schleifer einwandfrei sterilisiert, hat KLUCZKA³²⁾ bewiesen.

Dieses Verfahren steht also am niedrigen Ende der Temperaturskala der Sterilisationsverfahren. Es wurde einestheils deshalb als Vergleichsverfahren im Gegensatz zur Heißluft von mir verwendet, andernteils weil es ein chemisches Verfahren ist und sich trotz der Verwendungszeit von 5-6 Jahren noch in der Erprobung befindet.

EXPERIMENTELLER TEIL

Im folgenden will ich nun näher auf die von mir ausgeführten Versuche eingehen. Es wurden im Experiment die Auswirkungen der von mir oben näher beschriebenen Sterilisationsarten auf die zahnärztlichen Turbinenbohrer und -schleifer untersucht.

Versuchsanordnung und Materialien

Um in meiner Arbeit die Ergebnisse der Materialprüfung zunächst untereinander vergleichen und dann auch noch eine gültige Aussage für den praktischen Zahnarzt machen zu können, mußte ich mich bemühen, unter möglichst konstanten Bedingungen den Verhältnisse unter denen zahnärztliche Instrumente im Munde verwendet werden, nahe zu kommen.

Es mußte also eine Möglichkeit gefunden werden, die Turbinenbohrer und -schleifer entsprechend den in der Literatur gegebenen Anwendungsvorschriften und Hinweisen (BONSACK^{9, 10)}, CLAESSENS¹¹, EICHNER^{15, 16)} und FUHR¹⁹⁾) unter mundähnlichen Bedingungen an einem möglichst konstanten Material zu erproben. Ich ging dabei von der in den oben zitierten Arbeiten empfohlenen Arbeitsweise aus, daß der Bohrer oder Schleifer unter geringer Druckanwendung ziehend-streichend an der zu bearbeitenden Fläche entlang geführt werden sollte. Es ist nach FUHR¹⁹⁾, MUELLER⁴⁰⁾ und THIEL⁵⁵⁾ darauf achten, daß das Instrument nicht auf derselben Stelle verharret,

weil sonst die Hitzeentwicklung stark ansteigen und die Ausbeuteleistung sinken würde.

Ob nun das Instrument am Versuchsobjekt oder das Versuchsobjekt am Instrument entlang bewegt wird, ist für das Resultat der Versuche bedeutungslos. Für die Konstruktion der Versuchsanordnung aber ist die letzte Möglichkeit einfacher; sie erfordert einen geringeren technischen Aufwand. So konnte ich die bei früheren experimentellen Untersuchungen ausgearbeitete Versuchsanordnung, die bei FUHR¹⁹⁾ und WALSER⁵⁷⁾ näher beschrieben ist, für meine Arbeit übernehmen.

Die zu den Versuchen benutzten Prüfkörper müssen in entsprechender Menge und in entsprechender konstanter Zusammensetzung vorhanden sein. Beide Bedingungen sind bei dem Prüfungsmaterial, dem menschlichen Zahn, der ja eigentlich benutzt werden müßte, schwer bzw. kaum zu erfüllen. Wie BARTLING⁴⁾ mitteilt, "hat LAMMIE bereits in seinen ersten vergleichenden Untersuchungen (British Dental Journal, H. 9, 1.5.1951) mit dem englischen Tungstenbohrer (= Hartmetall) auf die Schwierigkeiten hingewiesen, die beim Bohren am menschlichen Zahn auftreten. Schon an ein und demselben Zahn ist der Aufbau des Schmelzes nicht homogen. Die verschiedenartige Wölbung der Zähne bietet dem Bohrer ferner eine unterschiedliche Angriffsfläche, so daß größere Schwankungen der Messung nicht vermieden werden könnten. Ferner ist die Dicke des Zahnschmelzes sehr verschieden und für die Leistungen der Turbinenbohrer und -schleifer zu gering. Für einen Hartmetallbohrer konnte die Bohrdauer beim Schmelz nur sehr kurz angesetzt werden, um ein Durchbohren in das Dentin zu vermeiden, das wiederum die Ergebnisse verfälscht hätte".

Deshalb ist ein homogenes Material zu verlangen, das bei Versuchen, die sich über längere Zeit hinziehen, konstante Bedingungen gewährleistet. So benutzte ich in Anlehnung an EICHNER¹⁵⁾, FUHR¹⁹⁾, HERRMANN²⁴⁾ und THIEL⁵⁵⁾ als Prüfkörper für die Hartmetallbohrer Kunststoff und für die Diamantschleifer Glas. Die Glaskörper bestanden aus Maxos-Glas der Firma Schott & Gen., Mainz, das mit einer Härte von 6 Mohs etwa der des Schmelzes (7 Mohs) entspricht. Diamantierte Schleifer sollen ja vorwiegend zur Schmelzbearbeitung verwendet werden. Die Kunststoffkörper bestanden aus Alberit-Kunst-

stoff der Firma Albert, Wiesbaden, mit einer Härte von 4 Mohs, dessen dentinähnliche Eigenschaften schon in früheren Arbeiten beschrieben (FUHR¹⁹⁾, HERRMANN²⁴⁾ und MALLEBRE³⁸⁾) und in ähnlicher Weise benutzt wurden.

Die Prüfkörper hatten Zylinderform mit einem Durchmesser von 70 mm und eine Höhe von 15 mm und waren in der Mitte durchbohrt.

Während eines Versuches von 30 Sek. Dauer wurden die Scheiben in Rotation versetzt. Die Bohrer und Schleifer im Turbinenwinkelstück wurden mit konstantem Druck in Richtung Mittelpunkt des scheibenförmigen Prüfkörpers an der Peripherie angesetzt. Auf diese Weise erfüllt die Versuchsanordnung die wichtigen Grundbedingungen für die Anwendung zahnärztlicher Turbinengeräte, weil sie ein Arbeiten mit geringen Drucken und unter dauerndem Wechsel der bearbeiteten Stelle ermöglicht.

Vor und nach jedem Versuch wurden die Prüfkörper gewogen. Die Gewichtsdifferenz - angegeben in 1/10 mg pro 30 Sek. - dient als Maß für die erzielte Ausbeute. Als Antrieb der Bohrer und Schleifer wurde die Luftturbine, Borden-Airator, von Kaltenbach & Voigt Biberach / Riss, Type 652, mit Winkelstück 62, benutzt. Das Prinzip der Luftturbine wurde von BORDEN in den USA entwickelt. Dieses Gerät besteht aus einer fahrbaren Einheit, in der die Kontroll- und Regelorgane sowie der Rotationskompressor untergebracht sind. Als prinzipielles Konstruktionsmerkmal aller Dental-Turbinengeräte muß die im Kopfe des Winkelstückes eingebaute Miniatur-Luftturbine angesprochen werden. Bei einem Druck von ca. 2 atü wird dieser Rotor durch Luftmengen von 30 - 40 l pro Minute in Umdrehungen zwischen 250.000 und 400.000 pro Minute versetzt. Im Turbinenkopf ist gleichzeitig noch eine Wasser-Spray-Kühlungseinrichtung eingebaut, die den Bohrer ständig berieselt. Für die Versuche fanden handelsübliche Hartmetallbohrer der Firma Busch & Co. Fig. 15, 2, zylindrisch und handelsübliche Diamant-Schleifer der Firma Brasseler, Lemgo / Lippe, Bezeichnung: O9D2, zylindrisch, Verwendung.

Statistische Methode

Die Leistungen der Bohrer und Schleifer in der festgelegten Zeiteinheit von 30 Sek. ausgedrückt in 1/10 mg Abschleiß vom jeweiligen Objekt wurden zur besseren Veranschaulichung in ein Koordinatensystem eingetragen. Hierbei zeigte es sich, daß die 5 Tageswerte bei jedem Bohrer und Schleifer - fortlaufend verbunden - einer Kurve nahe kommen. Um nun zu einem Kriterium zu gelangen, das es gestattet, die Werte einer Kurve zusammengefaßt mit denen der anderen zu vergleichen, addierte ich die Tagessumme, die als Ausdruck der Gesamtleistung zu werten ist. Es ergeben sich also für jede Serie 10 Summenwerte, entsprechend der Zahl der Bohrer bzw. Schleifer je Serie. Diese Summen waren die Ausgangswerte für die statistischen Vergleiche zwischen den Versuchsgruppen. Die statistischen Vergleiche dienten der Prüfung, ob die Leistungen der verschieden behandelten Versuchsobjekte sich stärker, als man es zufällig bei Berücksichtigung der Versuchsstreuung erwarten kann, unterscheiden. Es wurden für den gleichzeitigen Vergleich von je 3 Gruppen der Rangtest nach Kruskal und Wallis (PFANZAGL⁴⁴) und für den Vergleich von je 2 Gruppen der Rangtest nach Wilcoxon (KOLLER³³) ausgeführt. Diese Rangteste sind an keinerlei Voraussetzung z.B. bezüglich der Verteilung der Ausgangswerte gebunden. Durch die gleichzeitige Prüfung mehrerer Gruppen mittels eines geeigneten Testes vermeidet man, daß durch häufige Wiederholung von Einzelvergleichen zwischen je 2 Gruppen zufällig (gewissermaßen im Rahmen der Irrtumswahrscheinlichkeit) signifikante Resultate auftreten. Auf die Begriffe "signifikant" und "Irrtumswahrscheinlichkeit" wird unten noch zurückzukommen sein.

Ein solcher Test für die gleichzeitige Prüfung mehrerer Gruppen besagt bei positivem Ausfall, d.h. bei einem signifikanten Ergebnis nur, daß irgendwo zwischen den Gruppen Unterschiede vorhanden sind. An welcher Stelle sie aber liegen, kann man aus ihm nicht zwingend entnehmen. Um dies festzustellen, müßte man strenggenommen neue Untersuchungsreihen anstellen für den Vergleich von je 2 Gruppen, zwischen denen man signifikante Differenzen vermutet. Da nach den graphischen Darstellungen der Ausgangsdaten an kaum einer Stelle wesentliche Unterschiede zu erwarten waren, habe ich von dieser theoretisch begründeten Strenge Abstand genommen und mit den glei-

chen Untersuchungsergebnissen die Prüfung der Unterschiede zwischen je 3 und zusätzlich von je 2 Gruppen geplant und ausgeführt. Da sich das Prinzip des Rangtestes am Wilcoxon-Test leichter erklären läßt, soll mit seiner Darstellung an einem Beispiel begonnen werden.

Beispiel: Beim Vergleich der Tagessummen zwischen einer mit Heißluft und einer unbehandelten Gruppe von Bohrern ergaben sich folgende Werte:

Hartmetall - 1. Tag

Gruppe 1		Gruppe 2	
(1)	(2)	(1)	(2)
Heißluft Rangnr.		unsteril Rangnr.	

5230	1		
6564	2		
		6781	3
		7111	4
7344	5		
		7404	6
7407	7		
7409	8		
		7853	9
		7873	10
		7947	11
		8173	12
8244	13		
8255	14		
		8281	15
8346	16		
		8476	17
8518	18		
		8595	19
10387	20		
$S_1 = 104$		$S_2 = 106$	

Den Tagessummen beider Gruppen werden Rangnummern (Spalte 2) zugeteilt und zwar dergestalt, daß der kleinste Summenwert die Nr. 1, der zweitkleinste die Nr. 2, der drittkleinste die Nr. 3 usw. und der größte die letzte Nummer erhält. Haben mehrere Summen den gleichen Wert, dann wird an sie gleichmäßig der Mittelwert ihrer Anordnungszahlen vergeben.

Die Numerierung erfolgt ohne Rücksicht darauf, ob der Fall in der behandelten oder unbehandelten Gruppe steht. Aus den Rangnummern der kleineren Gruppe (bei gleicher Gruppengröße einer beliebigen Gruppe) wird die Summe gebildet = S_1 .

Das Wesen der weiteren statistischen Prüfung kann man sich folgendermaßen veranschaulichen. Wenn man wie im Beispiel aus einer Reihe von 20 Rangnummern (10 Rangnummern der behandelten und 10 Rangnummern der unbehandelten Gruppe) sehr oft 10 Rangnummern zufällig entnehmen und die Summe dieser zufällig entnommenen Rangnummern bilden würde, dann würden, kombinatorisch bedingt, bestimmte Rangsummen oft, andere selten, wieder andere sehr selten auftreten. Man prüft, ob die vorliegende Rangsumme der Heißluftgruppe zu den selten auftretenden Summen gehört. Wenn dies der Fall ist, wird die Hypothese zufälliger Entnahme abgelehnt.

Als "selten" bezeichnen wir hier das Auftreten in höchstens 0,1 % einer großen Zahl von Versuchen. 0,1 % ist damit die Irrtumswahrscheinlichkeit (P), d.h. in 0,1 % verwerfen wir die Zufallshypothese, obwohl sie zutrifft. Bei Vorliegen einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 0,1 % betrachten wir eine Differenz als signifikant. Wenn z.B. viele Werte der Heißluftgruppe im Vergleich zu denen der neutralen Versuchsgruppe klein sind, dann erhalten sie kleine Rangnummern. Die Rangsumme S_1 wird dann klein ausfallen. Weicht die Rangsumme so stark von der Erwartung (Durchschnittswert der Rangsummen bei zufälliger Entnahme) ab, daß eine Abweichung gleicher Größe nach unten oder oben zufällig nur in höchstens 0,1 % vorkommt, wird die Zufallshypothese abgelehnt. Im einzelnen gingen wir so vor: Der nach der Zufallshypothese zu erwartende Wert für die Nummernsumme der ersten Gruppe lautet:

$$E_{S_1} = \frac{1}{2} n_1 (n_1 + n_2 + 1)$$

n_1 = Zahl der Fälle in Gruppe 1

n_2 = Zahl der Fälle in Gruppe 2

mit einer mittleren Abweichung δ

$$\delta = \sqrt{\frac{n_2 \cdot E_{S_1}}{6}}$$

Da sich die Verteilung von Rangsummen bei einer großen Zahl von Fällen der Normalverteilung nähert, dürfen wir einen Wert u errechnen aus:

$$u = \frac{S_1 - E_{S_1}}{\sigma_{S_1}}$$

S_1 ist die tatsächliche Rangsumme. Die Irrtumswahrscheinlichkeit kann mit Hilfe einer Tabelle der standardisierten Normalverteilung entnommen werden. Bei u -Werten von 3 und mehr ist die Irrtumswahrscheinlichkeit 0,1 % und kleiner.

Der Rangtest nach Kruskal und Wallis baut auf dem gleichen Prinzip auf. Die Rangnummern werden hier jedoch an mehr als 2 Gruppen gleichzeitig vergeben. Die Testgröße wird berechnet nach

$$T = \frac{12}{n \cdot (n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{S_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

k = Zahl der Gruppen

n_i = Zahl der Fälle in der Gruppe i

n = Zahl der Fälle insgesamt

S_i = Rangsumme der Gruppe i

Für die Größe T kann man praktisch für alle n eine χ^2 -Verteilung annehmen mit $k-1$ Freiheitsgraden.

Die Meßergebnisse wurden graphisch dargestellt als

- 1) Einzelwerte
- 2) Durchschnittswerte nach verschiedenen Gesichtspunkten.

Diese Durchschnittswerte dienen nur als Veranschaulichung, ohne daß mit ihnen statistische Tests ausgeführt wurden.

Experimenteller Teil: Hartmetall

Aufgabe dieser Arbeit ist es nun, die Auswirkungen der Sterilisation auf das Schneidematerial Hartmetall zu überprüfen. Als Sterilisationsarten wendete ich die eingangs schon erörterten Heißluft- und Sterivit-Sterilisation an. Hinzu kam noch eine Serie ohne Beeinflussung als neutrale Vergleichsreihe.

Zylindrische Hartmetallbohrer - und zwar 10 Stück in jeder Versuchsserie - wurden einmal täglich sterilisiert und unter gleichen Bedingungen in der Versuchsanordnung zum Einsatz gebracht. Die Apparatur wurde im Laufe der Vorversuche einreguliert und dann in allen Einzelheiten konstant gehalten.

Bei Hartmetall verwendeten Kunststoffscheiben gleichen Durchmessers hatten eine konstante, niedrige Umdrehungszahl. Das Turbinenstück war auf einem Schwenkarm festmontiert und wurde mit einem Gewicht von 50 g, das ca. 1 cm hinter dem Bohrerfutter anhängt, gegen die rotierende Scheibe gedrückt. Der Verlust durch Reibung und Hebelwirkung betrug ca. 15 g, so daß der im Kunststofffutter gespannte Bohrer mit ca. 35 g gegen die Scheibe gedrückt wurde. Das Reduzierventil des Luftstroms war voll geöffnet, so daß die Turbinenpumpe auf höchsten Touren lief. Die Wasserberieselung des Sprays war in allen Versuchen ganz geöffnet.

Während der Versuche wurden also alle Bedingungen genau festgelegt und so auch während der Versuche konstant gehalten.

Nach jedem Versuch wurden dann jeweils die Bohrer und die als Bohrproben verwendeten Kunststoffscheiben gewogen.

Die Leistung der Bohrer wurde gemessen durch Wägung der abgeriebenen Scheiben; praktisch also so, daß die Kunststoffscheiben vor und nach Bohrerereinsatz gewogen wurden. Der Gewichtsverlust der Scheibe ergab die Leistung des Bohrers.

Im Laufe der Vorversuche hatte sich herausgestellt, daß die zuerst erzielte Zeitnahme von 30 Sek. pro Versuch und die vorgesehene Anzahl von 15 Versuchen kurz hintereinander eine zu große Streuung der Werte und keine volle Ausnutzung der Leistung des Hartmetalls ergaben. Die Streuung war zum Teil zurückzuführen auf die Fehler-

quellen in der Versuchsordnung, zum großen Teil aber hatte sie in den Vorversuchen ihre Ursache in dem unbeständigen Verhalten des Kunststoffes. Zunächst waren die Werte so unterschiedlich, daß an der Möglichkeit einer objektiven Aussage gezweifelt werden mußte. Durch einen Zufall - die Kunststoffscheiben waren längere Zeit mit Wasser in Berührung gekommen - ergab sich dann die Hauptursache: Es war dies die schnelle und starke Reaktion der Kunststoffe auf die Einwirkung von Licht, Wärme, Sauerstoff, Ozon und Feuchtigkeit. Mit diesen Einwirkungen ist verbunden eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften, Verlust der Transparenz, eine Änderung der Oberfläche und einiges mehr. Zusammengefaßt werden die Veränderungen unter dem Begriff der "Alterung". Hierzu äußern sich NITSCHKE-WOLF⁴¹⁾: "Die Eigenschaften der Kunststoffe sind ebenso wie die vieler anderer Werkstoffe mehr oder weniger stark abhängig von der Temperatur und der Feuchtigkeit. Wenn man bei Prüfungen vergleichbare Zahlenwerte erhalten will, so muß man daher unter gleichen Bedingungen der Temperatur und der Feuchtigkeit prüfen". Dazu ist eine Vorbehandlung oder Konditionierung nötig. "Zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt der Proben und dem der umgebenden Luft stellt sich hingegen ein Gleichgewichtszustand ein. Dieser ist sehr stark abhängig von dem Kunststoff und kann je nach Art des Kunststoffes bei gleicher relativer Feuchtigkeit der Luft sich in weiten Grenzen bewegen" (NITSCHKE-WOLF⁴¹⁾). Das war die Erklärung für den oben erwähnten Zufallsbefund: die Proben waren nach einem Versuch und nach anschließender längerer Berührung mit Wasser schwerer als vorher. Und daraus ergab sich auch ein Großteil der Streuung. Je nach Luftfeuchtigkeit und Temperatur an den verschiedenen Tagen waren die Eigenschaften verändert, und es ergaben sich andere Leistungen.

Daraus resultiert die Forderung, die Bedingungen für den Kunststoff einheitlich zu gestalten und die Hauptfaktoren, Temperatur und Feuchtigkeit, auszuschalten. Beides war, wenn auch auf eine etwas primitive, so doch für meine Versuche ausreichende Weise möglich. Der Kunststoff wurde von da an ständig feucht gehalten. Er sog sich in entsprechender Zeit voll Wasser und wurde dann jeweils kurz vor und kurz nach dem Versuch gewogen. Die Temperaturschwankungen und der Luftdruck wurden weitgehend ausgeschaltet, indem an gleichen Tagen gleiche Versuche durchgeführt wurden.

Als weiterer Unsicherheitsfaktor erwies sich das Kunststoffutter im Turbinenkopf. Es ermüdete relativ rasch und ließ dann dem Bohrer zu viel Spiel. Als Folge lief der Bohrer exzentrisch. Ein häufiger Wechsel des Futters zeigte auch hier Besserung.

Dies alles ergab zwar jetzt schon eine Verringerung der Streuung, aber befriedigend waren die Resultate noch nicht. Da lag der Gedanke nahe, daß eine Arbeitszeit von 30 Sek. pro Tag für einen Hartmetallbohrer zu wenig sei und dabei noch keine Leistungsminderung eintrete.

Auf Grund dieser Überlegung wurde dann die Arbeitszeit pro Bohrer auf 2 1/2 Minuten = 150 Sek. pro Tag erhöht; jedoch immer noch aufgeteilt in 5 Versuche à 30 Sek. Dies ergab ein anschauliches Bild von der Leistung der Bohrer, was besonders noch im Gegensatz dazu die in den Vorversuchen nebenher laufenden Versuche mit nur 30 Sek. pro Tag oder (5 x 30) = 150 Sek. ohne Unterbrechung zeigten.

Die Aufteilung in 5 Einzelversuche ergab eine viel größere Ausagemöglichkeit, und sie zeigte (siehe unten) auch manches Phänomen. So ergab sich also am Ende folgende Versuchsanordnung: Jeder Hartmetallbohrer hatte täglich eine Arbeitszeit von 5 x 30 Sek. Es wurden bei jeder Reihe 10 Hartmetallbohrer verwendet, d.h.

- 1) bei Heißluftsterilisation 10 Bohrer,
- 2) bei Sterivit-Sterilisation 10 Bohrer und
- 3) eine notwendige Vergleichsreihe ohne jede Beeinflussung, die sog. unsterile Reihe, mit ebenfalls 10 Bohrern.

Legende zu Abb. 2 a) b) c)

3 a) b) c)

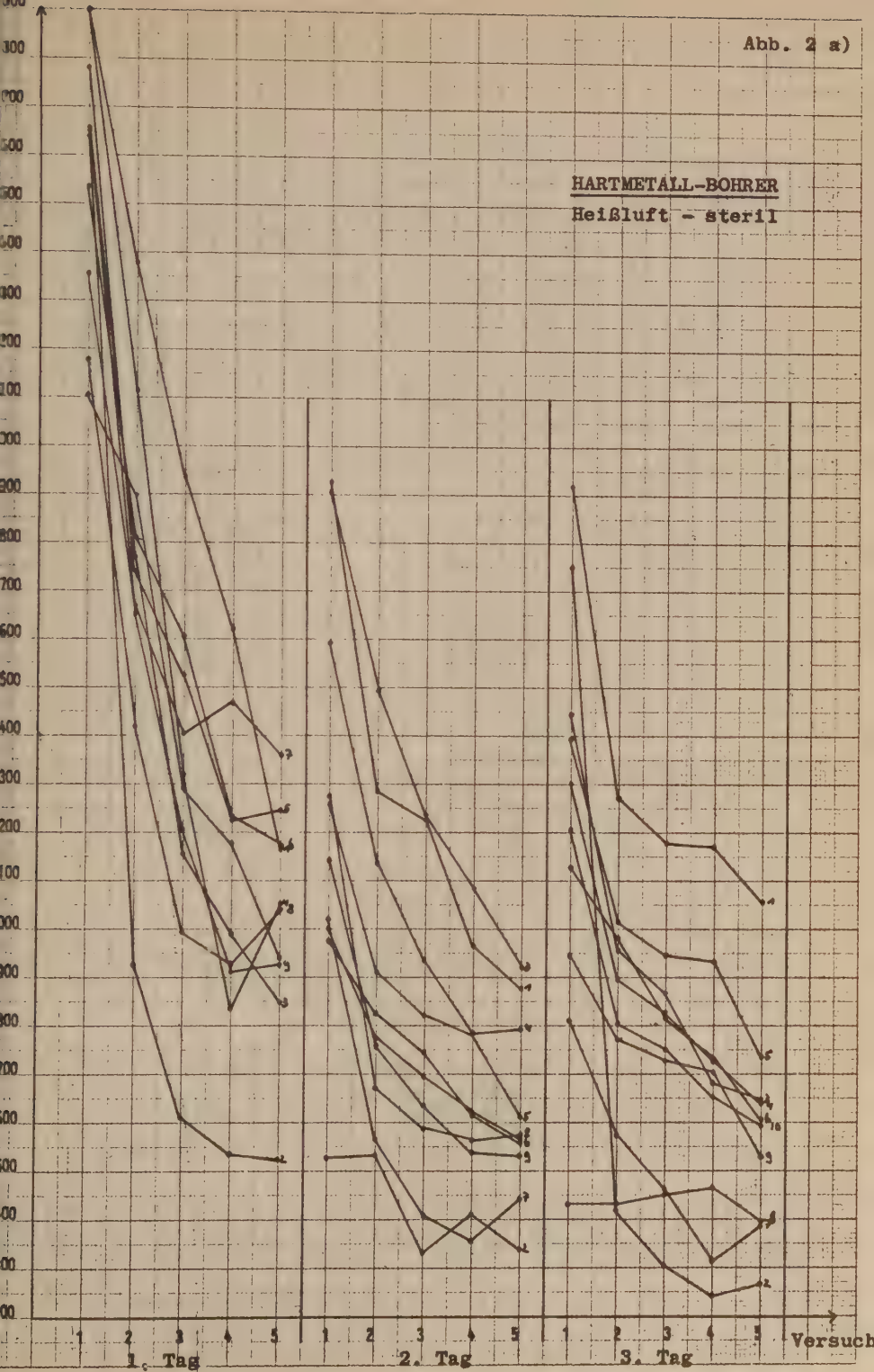
4 a) b) c)

Leistungsabfall der einzelnen Bohrer.

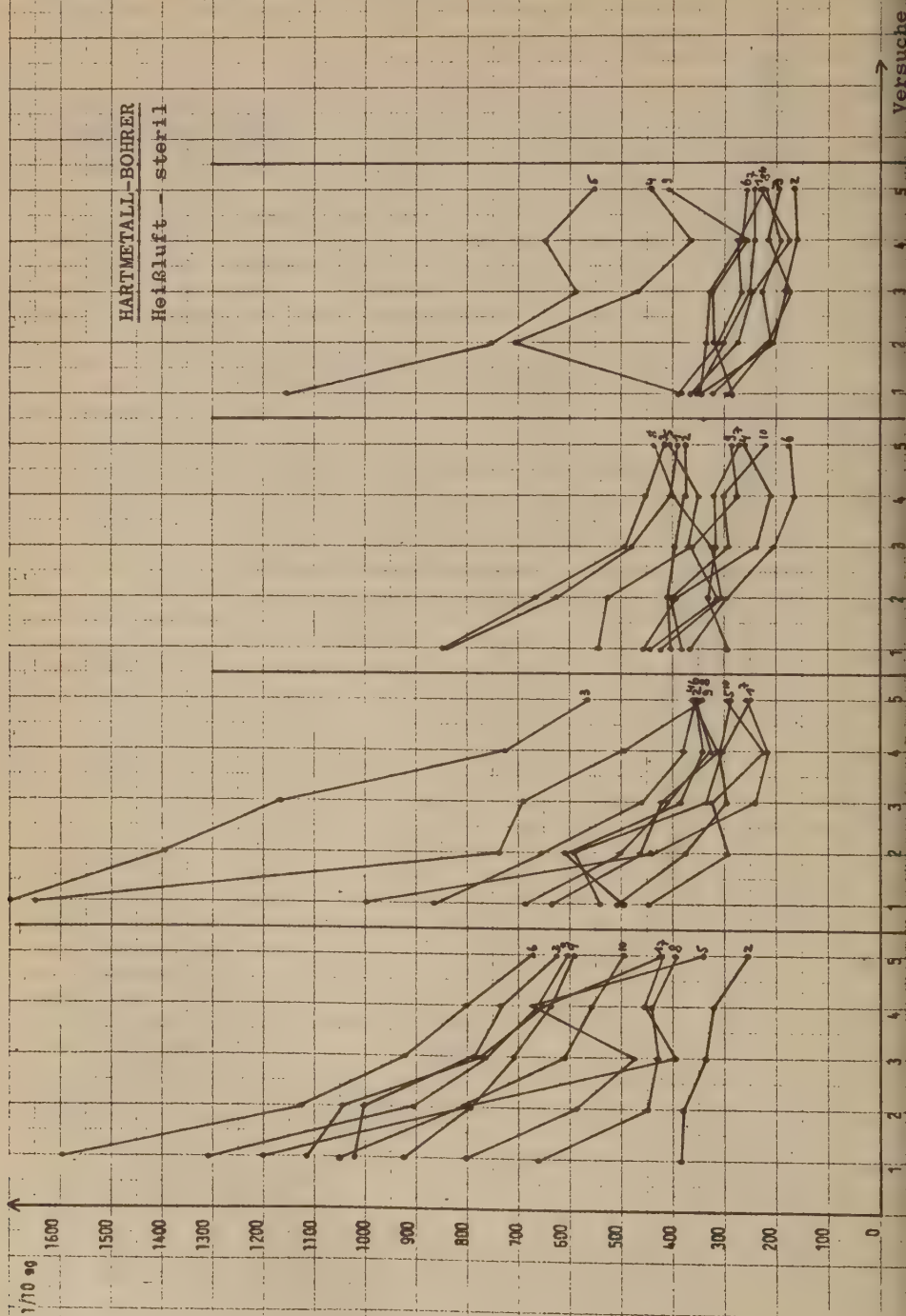
Kriterium der Leistung ist der Gewichtsverlust der Probescheibe pro Bohrung in 1/10 mg (Ordinate). Pro Versuch und pro Bohrer wurde je eine Scheibe verwandt. Auf der Abszisse stehen die Versuchstage und die Bohrungen pro Versuchstag.

HARTMETALL-BOHRER

Heißluft	- steril
----------	----------

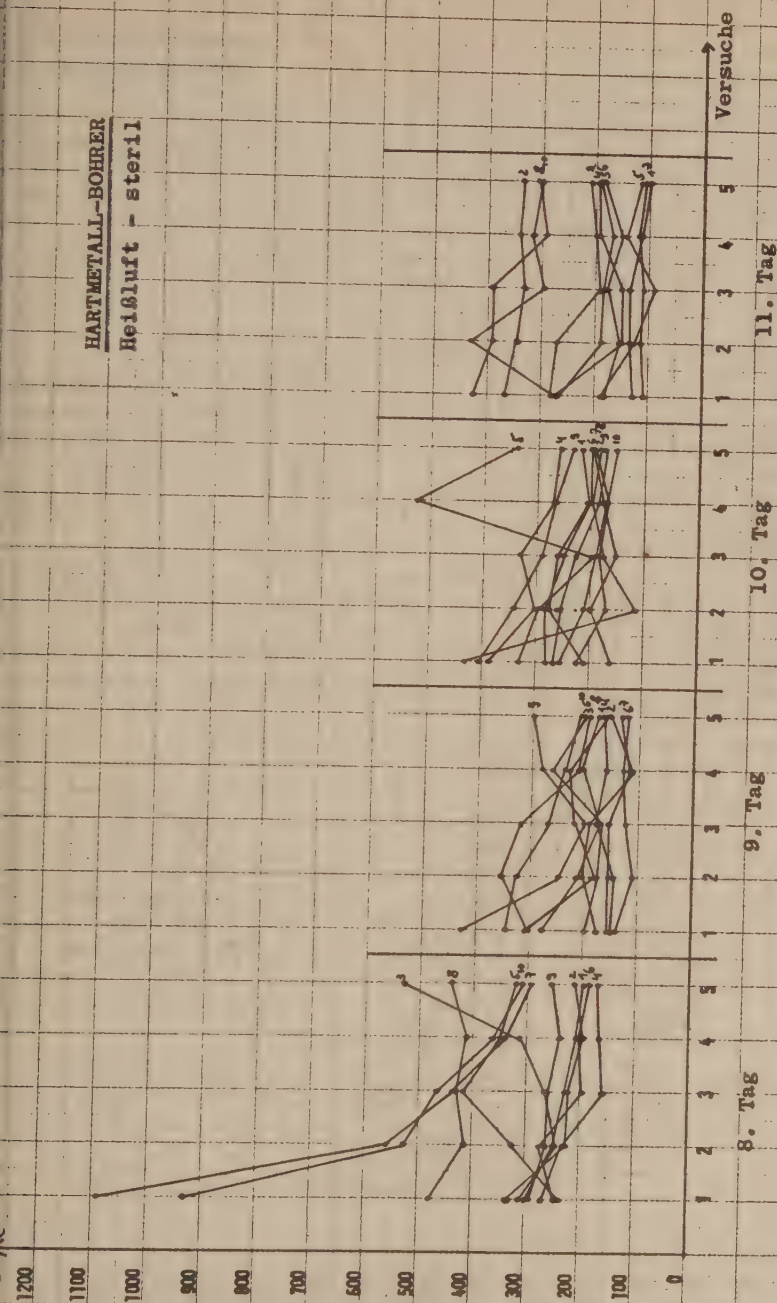


HARTMETALL-BOHRER
Heißluft - steril

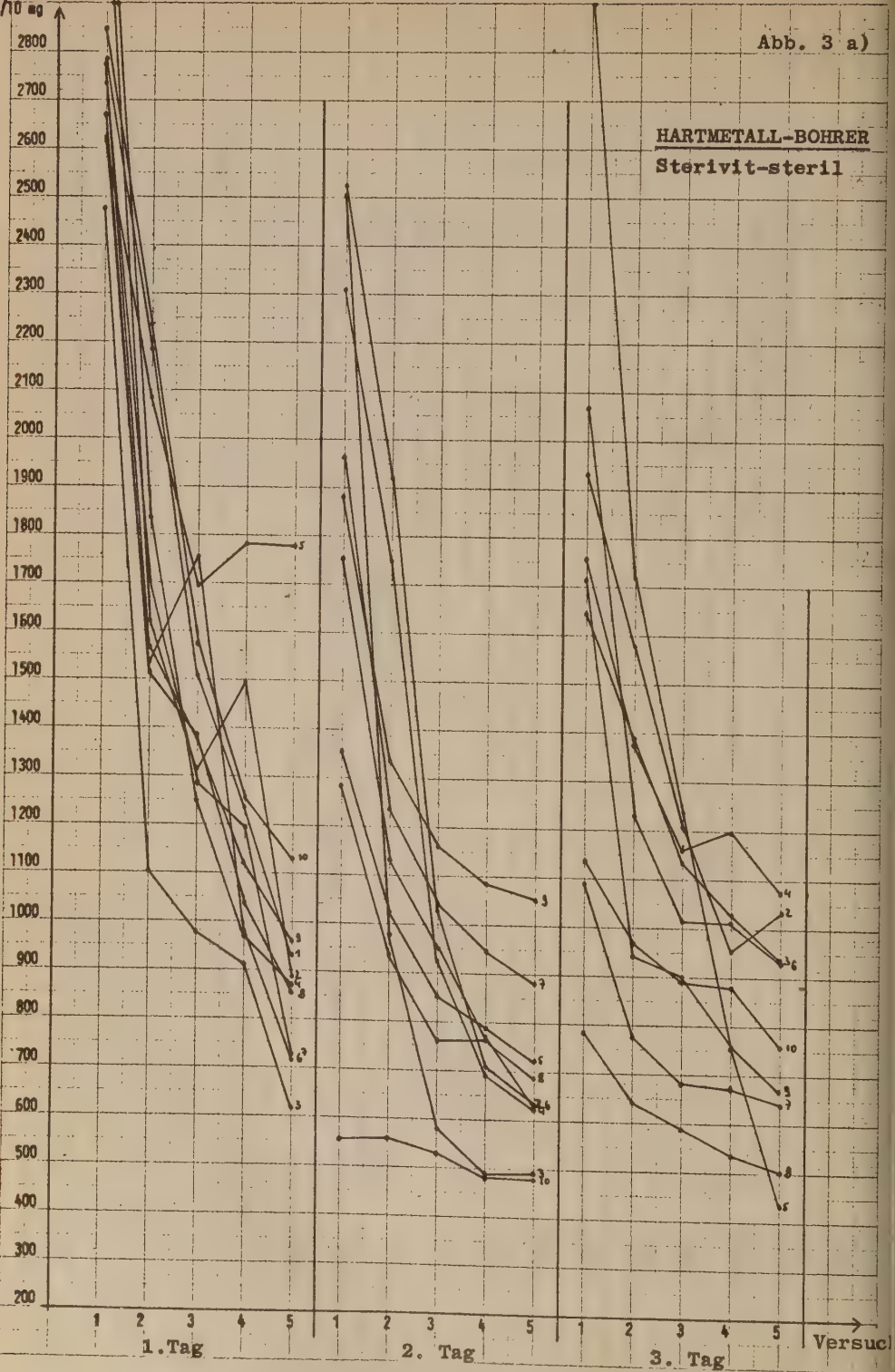


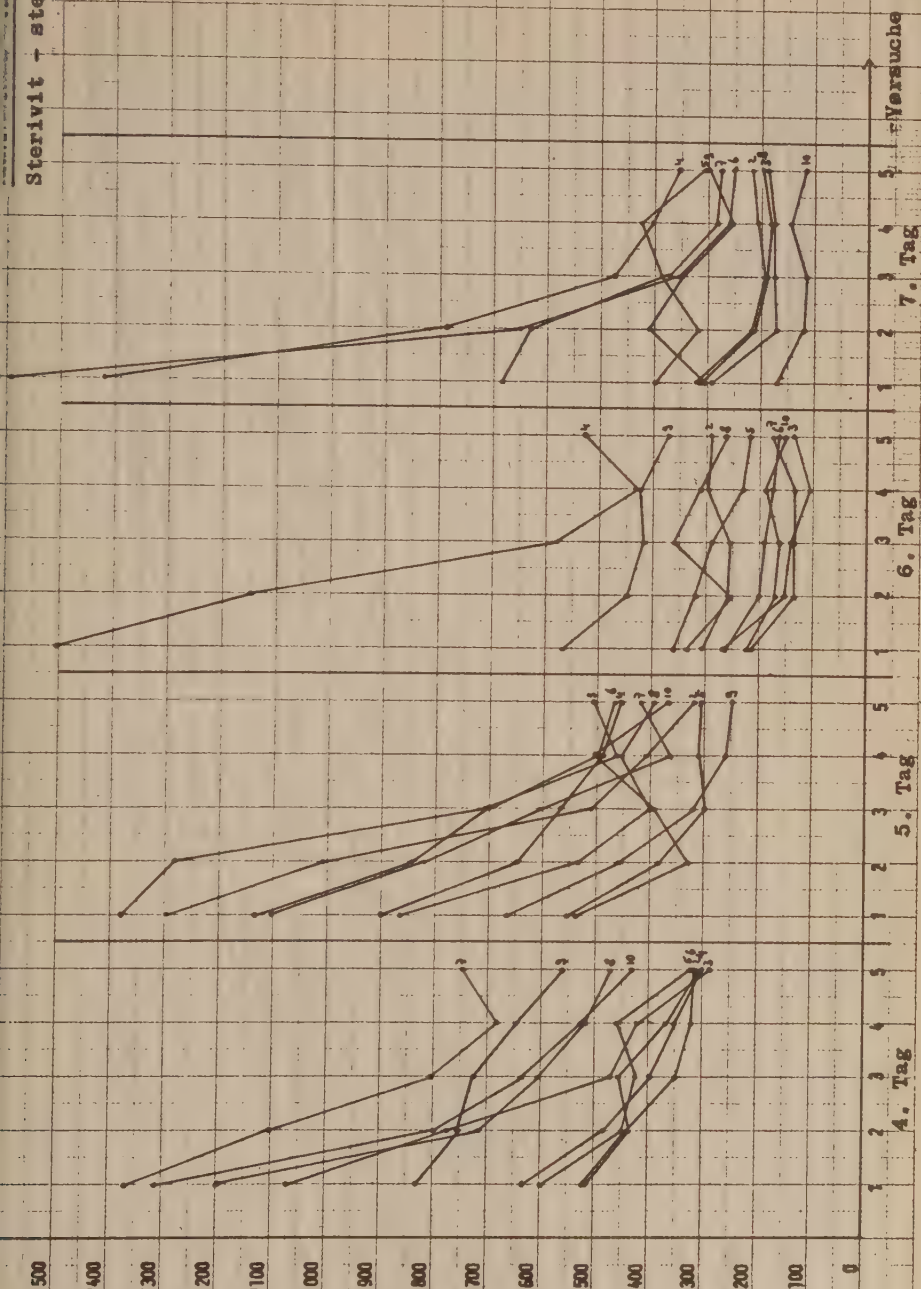
Versuche
→

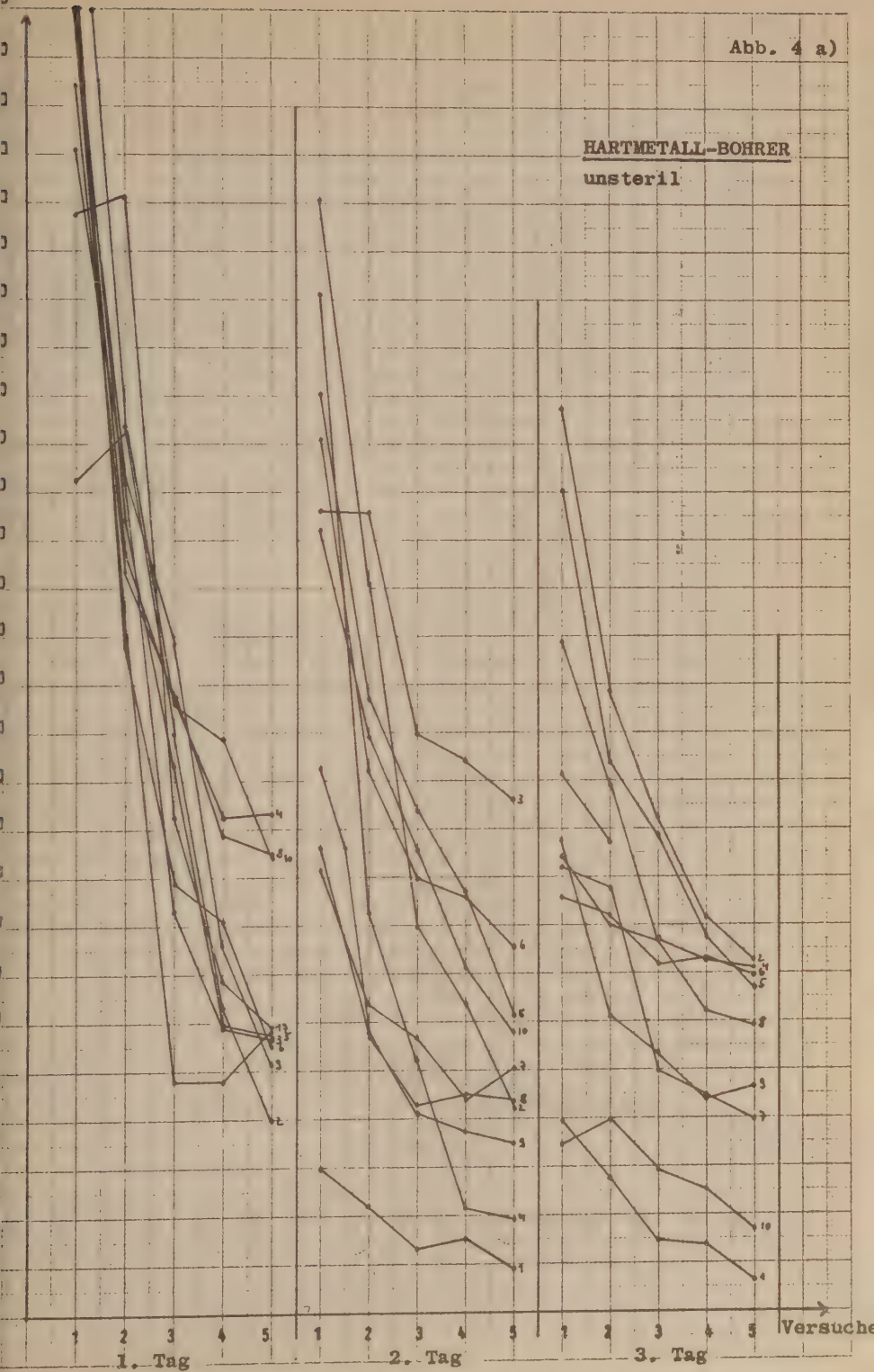
HARTMETALL-BOHRER
Heißluft - steril



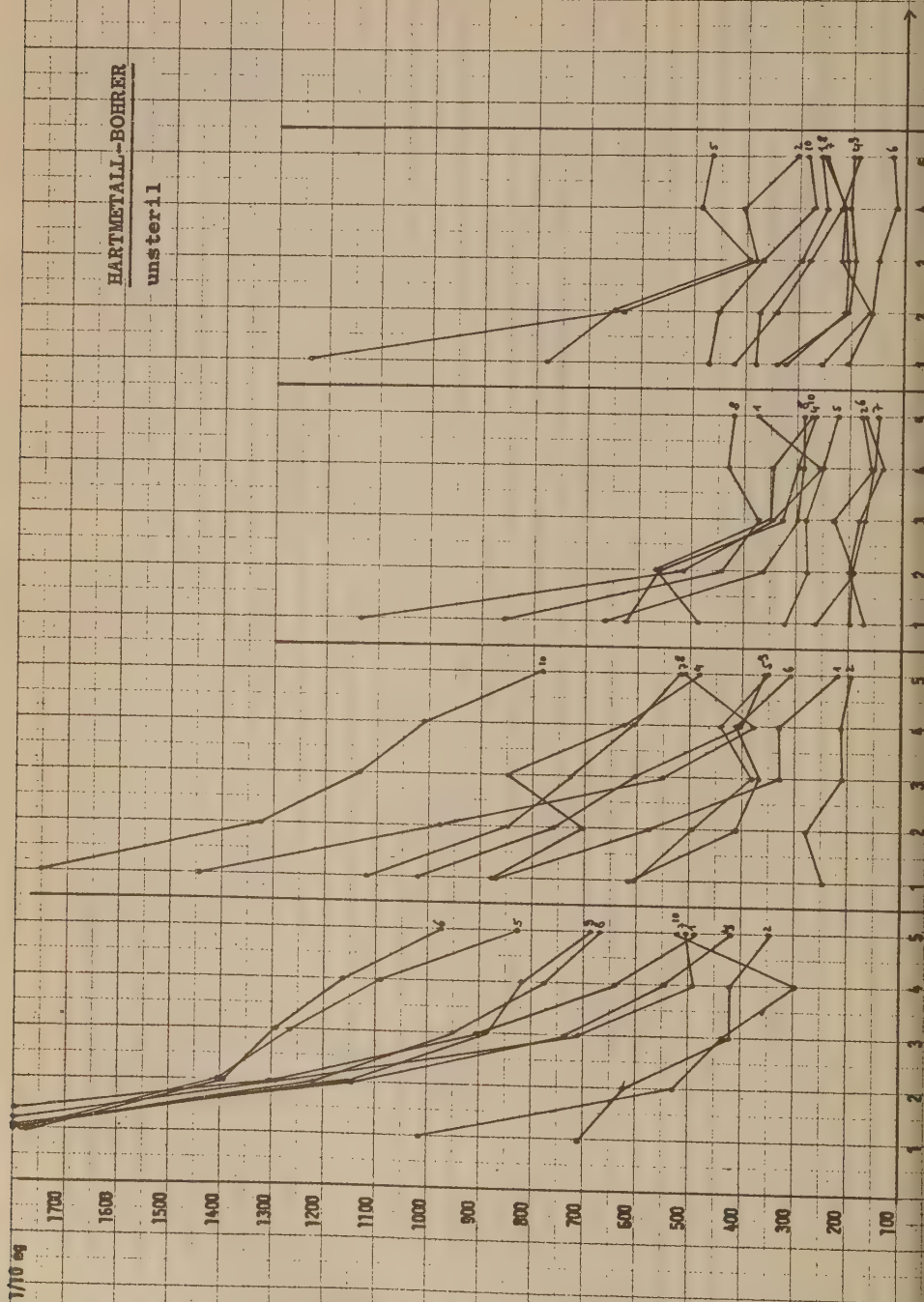
HARTMETALL-BOHRER
Sterivit-steril





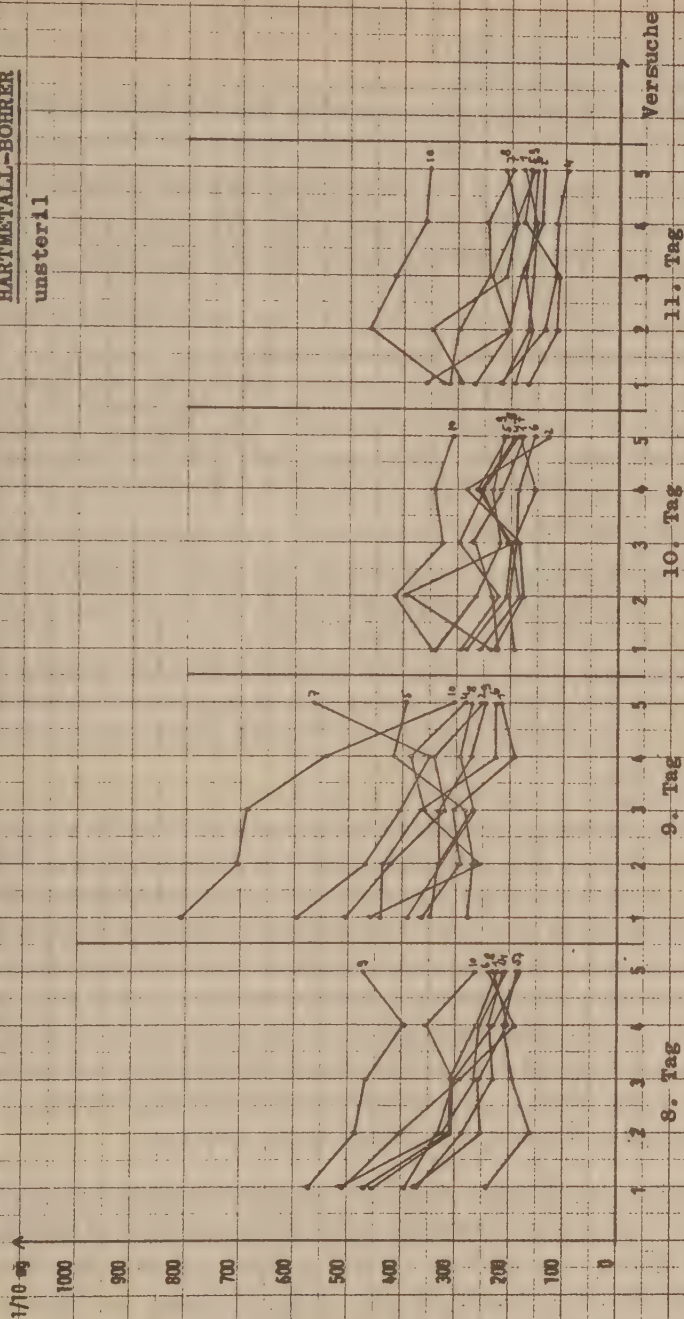
HARTMETALL-BOHRER
unsteril

HARTMETALL-BOHRER
unsteril



HARTMETALL-BOHRER

unsteril



Versuchsreihe Hartmetall

Zunächst sind in den Abb. 2-4 alle Einzelwerte des Endversuches dargestellt:

in den Abb. 2 a) b) c) die Werte für die Versuchsreihe Heißluft
in den Abb. 3 a) b) c) die Werte für die Versuchsreihe Sterivit
in den Abb. 4 a) b) c) die Werte für die Versuchsreihe unsteril

Es wurden 11 Tage lang hintereinander jeden Tag mit jedem Bohrer Versuche durchgeführt. Es zeigt sich nun in den ersten 2 bis 3 Tagen eine steile Abnahme der Bohrerleistungen. Der erste Wert am 1. Tag liegt bei durchschnittlich 2 800. Die Kurven fallen dann insgesamt rasch ab auf Werte um 1 000. Die Streuung ist dabei sehr stark und unterschiedlich. Auch kommen Kurven vor, die einen zeitweiligen Anstieg zeigen.

Am 2. Tag ist dann der erste Wert der Bohrer wieder recht hoch, was um 1 200, um dann wieder rasch auf Werte um 600 zu sinken.

Am 3. Tag usw. ist es dann im großen ganzen so ähnlich. Nur wird der Verlauf der Kurven flacher und einheitlicher. Die Leistungswerte der Bohrer werden kleiner, um am 9., 10. und 11. Tag um 20% zu schwanken.

Die "Über"schärfe des fabrikneuen Bohrers verliert sich also rasch und es erfolgt eine Einschwenkung der Kurven auf eine Leistungsstufe, die längere Zeit beibehalten wird. Es zeichnen sich aber schon Phänomene ab, die in anderer Darstellung noch mehr zum Vorschein kommen. Bei einzelnen Bohrern kann man die unwahrscheinlichsten Leistungsveränderungen sehen. Es kommt vor, daß ein Bohrer 2 Tage auf niedrigem Leistungsniveau hält, um dann plötzlich am 3. Tag zu mehrfacher Leistung wieder anzusteigen. Was es damit für ein Bewandnis hat, und inwieweit dies mit der Versuchsanordnung zusammenhängt, konnte ich leider nicht eruieren.

Insgesamt gesehen ist aber der Leistungsabfall bei allen 3 Serien sehr rasch und der schon nach einigen Tagen erreichte Leistungsstand doch recht gering. Es muß zunächst daraus geschlossen werden, daß die Versuchsanordnung hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Bohrer stellt. Der Verschleiß war also recht groß und

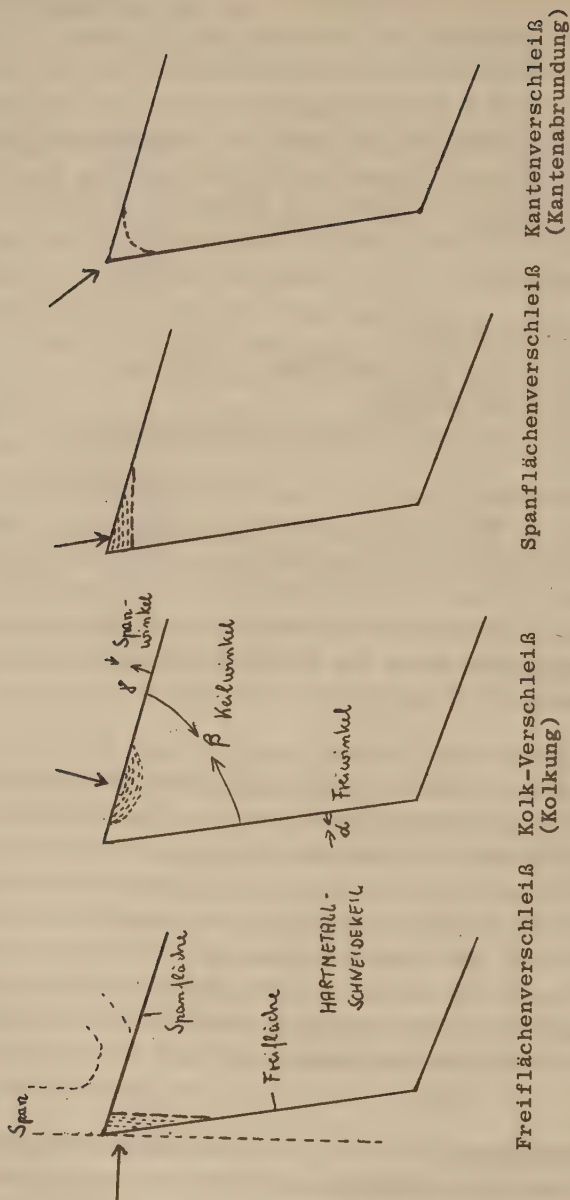
wahrscheinlich noch begünstigt durch die bei den Versuchen an Scheiben auftretenden Rattermarken, auf die noch näher eingegangen wird. Doch zunächst sei einiges über die Verschleißerscheinungen und -ursachen bei Hartmetall gesagt. Der Verschleiß tritt bei Hartmetall in 4 Erscheinungsformen auf. Je nach Werkstoff, Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Hartmetallzusammensetzung steht eine Form von ihnen im Vordergrund. Das Gesamtbild setzt sich aber meist aus allen Vieren zusammen. Abb. 5 zeigt die Arten getrennt im Bild bei einem Schnitt senkrecht zur Schneidante des Werkzeuges:

der Freiflächenverschleiß,
der Kolkverschleiß auf der Spanfläche (Kolkung),
der Spanflächenverschleiß und
der Kantenverschleiß oder die Schneidkantenabrundung.

Freiflächenverschleiß wird hervorgerufen durch die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstoff an der Freifläche der Schneide. Er beschädigt nicht direkt die Schneidefähigkeit des Werkzeuges, da er größeren Verschleiß an dieser Stelle der Keilwinkel β zunimmt. Die Abstützung der Schneide wird größer. Allerdings tritt damit eine erhöhte Reibung auf. Als Folge werden die Schnittkräfte und die Werkzeugtemperatur höher.

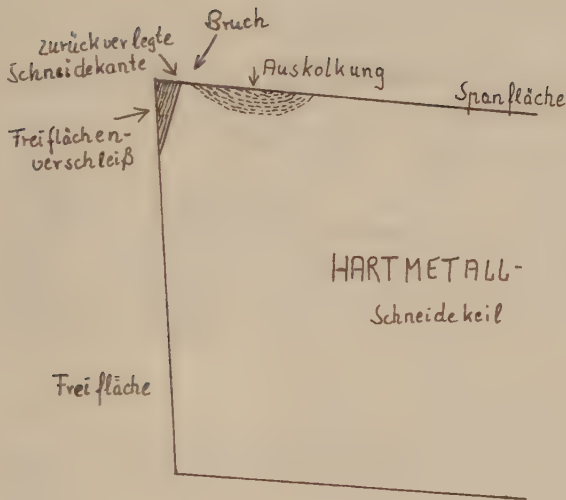
Kolkverschleiß oder die Kolkung tritt auf der Spanfläche der Schneide auf. Er ist die typische Verschleißform bei zähem, langstreichendem und metallischem Werkstoff. Die über die Spanfläche bei hoher Schnittgeschwindigkeit auflaufenden heißen, kratzenden Späne heben ihn hervor. Die Vertiefung schwächt mit der Zeit die Schneidante, und es kommt zum Abbruch. Zur Erläuterung sei auf Abb. 6 verwiesen. Sie zeigt das Fortschreiten des Verschleißes an einer Hartmetallschneide. Es ist gleich, ob der Hauptverschleiß von dem Kolk oder von der Freifläche ausgeht. Die Schneide wird beim Zusammenwirken beider fortlaufend geschwächt, und es muß zum Ausbruch kommen.

Spanflächenverschleiß tritt bei geringen Geschwindigkeiten und kleinem Vorschub auf. Er beschädigt eigentlich die Schneide recht we-



Schnitte senkrecht zur Schneidkante

Arten des Meißelverschleißes (H. SCHALLBROICH und WALLICHS) aus KIEFFER-SCHWARZKOPF³¹⁾



Fortschreiten des Verschleißes an einer Hartmetallschneide, schematisch (H. SCHALLBROICH und H. BETHMANN) aus KIEFFER - SCHWARZKOPF³¹⁾

Die Kantenabrundung ist das Ergebnis des sog. "Abrutschens". Sie kann jederzeit auftreten und ist die Folge einer plötzlichen Überbeanspruchung der Schneide.

Die Ursachen der Verschleißformen sind:

- a) der Verschleiß durch Abrieb,
- b) der Verschleiß durch klebende Werkstoffteilchen, die mit dem Werkzeug verschweißen,
- c) der Verschleiß infolge von Diffusion.

Bei den beiden ersten erfolgt die Loslösung der kleinsten Werkzeugteilchen durch eine mechanische Überbeanspruchung. Die dritte Verschleißform bezeichnet "Schneidstoffabtragungen, die als eine Folge diffusionsbedingter Gefügeänderungen angesehen werden müssen" (ALTENWERTH²). Diffusion ist ein Platzwechsel der Atome, der einen Konzentrationsausgleich anstrebt.

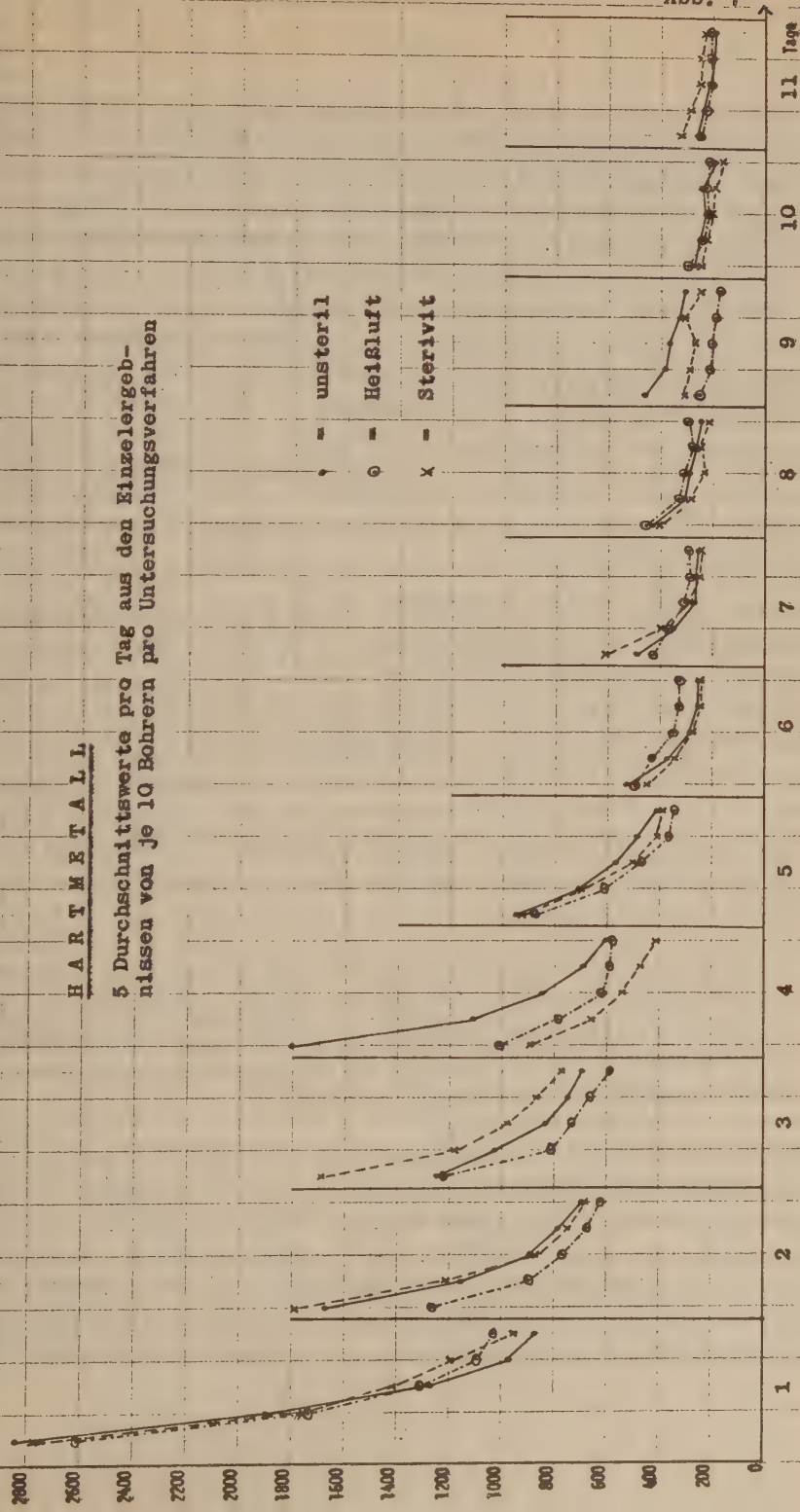
Eine dieser Verschleißformen oder eine Kombination von mehreren dürfte auch bei den in diesem Versuch verwendeten Bohrern aufgetreten sein. Man wird zwar noch mit diesen Bohrern nach dem 11. Tag eine Kavität präparieren können, wird aber dabei erheblich höhere Drucke anwenden müssen, was allerdings durch die intermittierende Bohrweise am Zahn möglich sein wird. Eine höhere Wärmeentwicklung wird dann aber zu erwarten sein.

Ob dies noch ein rationelles Arbeiten und eine schonende Behandlung des Zahnes ist, mag dahingestellt sein. Man muß also feststellen, daß die Leistung der Hartmetallbohrer bei einer Belastung von ca. 35 g und 150 Sek. Arbeitszeit pro Tag nach 11 Tagen so weit abgesunken ist, daß ein Bohrer bei diesen Bedingungen kein rationelles Arbeiten mehr verspricht. Diese Aussage ist gültig bei der Versuchsanordnung mit Kunststoff. Inwieweit dies auf die Bearbeitung des Zahnes übertragen werden kann, ist nicht mit Sicherheit festzulegen. Abb. 7 zeigt für die fünf 30-Sek.-Werte pro Tag je einen Mittelwert aus den 10 Bohrern. Als Hauptaussage dieser Darstellung ist wohl der "Erholungseffekt" von Tag zu Tag anzusprechen. Es zeigt sich also, daß die Leistung eines Bohrers bei 5 Versuchen kurz hintereinander pro Tag stetig abfällt auf einen niedrigen Wert. Läßt man nun den Bohrer 24 Std. ruhen, so zeigt der erste 30-Sek.-Wert des nächsten Tages ein erheblich höheres Ergebnis, als man auf Grund d

HARTMETALL

§ Durchschnittswerte pro Tag aus den Einzelergebnissen von je 10 Bohrer pro Untersuchungsverfahren

• - unsteril
 ○ - Heißluft
 x - Sterilit



letzten Wertes am Tage vorher vermuten könnte. Der Bohrer hat sich also "erholt" und schneidet jetzt wieder mit neuer Schärfe. Dies ist besonders deutlich in den ersten Tagen, um dann mit nachlassender Tagesleistung ebenfalls geringer zu werden. Offenbar ist es so, daß ein scharfer Bohrer einen hohen "Erholungseffekt" zeigt, ein stumpfer Bohrer jedoch davon nicht mehr viel erkennen läßt. Eine gültige Erklärung gibt es für diese Erscheinung nicht. Nirgends in der zahnmedizinischen Literatur über Hartmetallbohrer bei BARTLING⁴⁾, GASSMUS²¹⁾, HUPFER²⁸⁾, MENTLER³⁹⁾, SCHILLER und WLCEK^{49, 50, 51)} findet sich ein Hinweis.

Auch von der technischen Seite her und hier insbesondere aus den Arbeiten der TH Aachen von ALTENWERTH²⁾, AXER³⁾, OSTERMANN⁴³⁾, SCHWARTZ⁵³⁾ läßt sich nichts Sicheres entnehmen, was auf diese Erscheinung hinweist.

Als Erklärung könnte man folgendes sagen: Durch die Reibung und den Spanabhub beim Bohren entsteht ja am Bohrer Wärme und wird in diesen weitergeleitet. Führt man jetzt kurz hintereinander Bohrversuche durch, so kühlt zwar der Bohrer in den Pausen etwas ab, aber die neu hinzukommende Wärme addiert sich zu der noch vorhandenen. So wird von Versuch zu Versuch die Temperatur des Bohrers höher. Der bei den Versuchen auftretende Leistungsabfall könnte also außer einer normalen Verschleißerscheinung auch eine Folge der jeweiligen Temperatur des Bohrers, d.h. der dadurch verursachten Wärmeschädigung sein. Dies wäre möglich, wenn

1. die Kaltwasser-Berieselung während des ganzen Bohrvorganges nicht ausreichen würde, um den Bohrer auf einer niederen Temperatur zu halten (mindestens unter 500°C an der Schneide),
2. die Warmhärte des Hartmetalls so gering wäre, daß sie bei dieser Temperatur schon Einbuße erleidet.

Andererseits ist aber gerade die Warmhärte eine hervorragende Eigenschaft der Hartmetalle. "Selbst bei einer Temperatur von 900°C haben sie noch die Härte des Schnellstahls bei Raumtemperatur. Das bedeutet, daß sie bei Rotglut noch arbeitsfähig sind. Während der Schnellstahl bei der genannten Temperatur etwa 85 % seiner Härte verliert, beträgt die Wärmeeinbuße bei titanfreiem Hartmetall 45 (ISENBERG²⁹⁾). Schnellstahl verliert bei 600°C schon seine Schn

eigenschaften, während Hartmetall das Doppelte aushalten sollte. Dies besagt allerdings nur, daß die Warmhärte erheblich höher liegt, als bei Stahl. Auf Grund dieser Angaben kann also die 2. oben erwähnte Annahme nicht stimmen. Stimmt auch die 1. Annahme nicht und hat die Kaltwasser-Berieselung den Bohrer auf einer niedrigen Temperatur gehalten, so ist zunächst keine Erklärung für den Erholungseffekt möglich. Stimmt die erste und hat die Kaltwasser-Berieselung nicht ausgereicht, eine niedrige Schneidetemperatur zu erhalten, dann können weitere Literaturangaben zur Deutung herangezogen werden. KUESTERS³⁷⁾ konnte nämlich nachweisen, daß Temperaturen von 1 250° C und höher an der Spanfläche der Bohrer auftreten können.

Auch EICHNER¹⁵⁾, der die Bakterienstreuung und die Tröpfcheninfektion beim Arbeiten mit der Turbine prüfen wollte, mußte feststellen, daß keinerlei Bakterienwachstum in dem aufgefangenen Staub auftrat. Er führt dies auf hohe Temperaturen der Schneidwerkzeuge zurück. Durch den Schnittdruck, den ablaufenden heißen Span und dessen Reibungswärme wird der Bohrer beträchtlich aufgeheizt. Als Folge dieser hohen Temperatur gibt es nun für das Hartmetall verschiedene Veränderungsmöglichkeiten. Als erste wäre folgende zu nennen:

Nach KIEFFER und SCHWARZKOPF³¹⁾ weisen Hartmetalle mit weniger als 10 % Kobalt ein zusammenhängendes Karbidskelett auf, in dem das Kobalt das Binde- und Füllmittel ist. Nun hat das Kobalt die Eigenschaft, mit steigenden Temperaturen ein starkes Lösungsmittel für Wolfram-Karbid zu sein. Dies tritt schon unterhalb des Schmelzpunktes ein. Dabei werden die Karbide in das Gitter des Kobalts eingebaut. Bei 1 250° C, der von KUESTERS³⁷⁾ festgestellten möglichen Temperaturen, beträgt die Löslichkeit der Karbide in Kobalt 22 %. Das ist eine recht beträchtliche Menge. Steigen nun die Temperaturen während des Bohrversuches so stark an, daß sie 1 250° C erreichen oder daran nahe kommen, so kann die Erscheinung auftreten, daß das Karbid-Skelett und damit der Härteträger durch das Kobalt nach und nach aufgelöst wird. Dem Karbid-Gerüst fehlen einige Stützen, und es könnte zusammenbrechen. Zumindest verliert es vorübergehend aber an Härte. Bei der Abkühlung scheidet dann das Kobalt die Karbide wieder aus. Das alte Karbid-Skelett wird eini-

germaßen wiederhergestellt. Bei hoher Schnittgeschwindigkeit liegt die Temperatur dieses Lösungs-Eutektikums aller Wahrscheinlichkeit nach innerhalb der Schneidetemperatur. Dieser vorübergehende Härteverlust ist dann nach vollendeter Rekristallisation wieder verschwunden. Dies wäre der Sprung vom 5. Wert eines jeden Tages zum 1. Wert des nächsten Tages. Daß der 1. Wert dann nicht mehr so hoch ist, wie der 1. am Tage vorher, ist leicht verständlich, denn innerhalb dieser eutektischen Phase tritt ein verstärkter Verschleiß auf. Die Erscheinung wäre also bedingt durch die Zusammensetzung der Bohrer und die Wärme als auslösendes Moment. Dies wäre die eine Möglichkeit. Die andere Möglichkeit zur Erklärung dieser Erscheinung liegt ebenfalls in der Wärme begründet.

"Die Lebensdauer der Schneide wird maßgeblich durch ihre Warmhärte bestimmt. Wird diese überschritten, so reicht die Härte des Schneidekeiles gegenüber dem Schnittdruck nicht mehr aus, und es kommt zur plastischen Verformung an der Schneide" (OSTERMANN⁴³).

Dies kann allerdings nur bei sehr starker, grober Beanspruchung auftreten, die mit starkem Verschleiß verbunden ist und bei der auch die entsprechend hohen Temperaturen am Bohrer erreicht werden. Der Schnittdruck ist dann größer als die Härte. Andererseits muß man bedenken, wenn es einmal zu einer plastischen Verformung gekommen ist, gibt es keine Möglichkeit mehr, daß der Bohrer sich von diesem Schaden, sei es auch nur zum Teil, völlig erholen kann. Und das ist aber bei dieser Erscheinung hier der Fall. Am nächsten Tag ist die Leistung wieder vorübergehend besser.

Eine andere Möglichkeit liegt in der Zusammensetzung der Hartmetalle. Primär bestimmt ja der Kobaltgehalt bei einem gegebenen Karbidsystem die Zähigkeit der Legierung. "Je mehr Kobalt enthalten ist, umso größer wird die Biegefestigkeit, während Härte und Druckfestigkeit abnehmen. Eine größere Kobaltfilmdicke (zwischen den einzelnen Kristallen) sorgt für weniger Karbid-Karbid-Kontakte (= keine gegenseitige Abstützung).

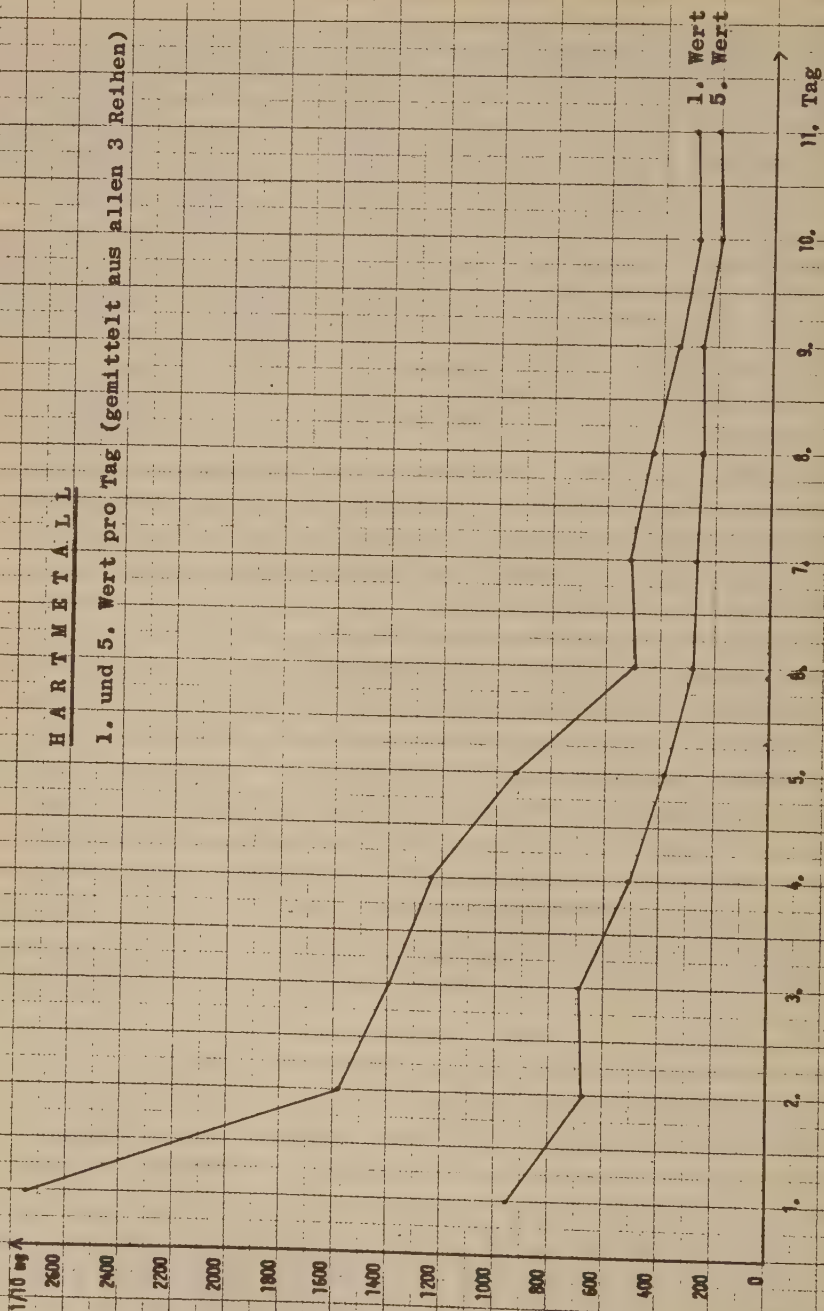
Wenn örtlich ein hoher Druck auf das Karbid kommt, so braucht es nicht zu zersplittern, sondern kann sich durch Ausweichen in den weicheren Kobaltfilm einer Überbeanspruchung entziehen" (ALTEN-WERTH²). Hierzu ist aber neben großem Druck auch eine hohe Tem-

peratur erforderlich, um das Kobalt doch in etwa zu erweichen. Da dieses Ausweichen der Kristalle bei nachlassendem Druck und absinkender Temperatur zweifellos teilweise rückgängig gemacht wird, könnte es die Ursache des "Erholungseffektes" sein. Dagegen spricht die Tatsache, daß dies nur bei kobaltreichem Hartmetall auftreten kann. So ein Hartmetall hätte aber eine zu geringe Verschleißfestigkeit und wäre unrentabel. Führt man aber die Erscheinung - wie in der ersten Möglichkeit dargestellt - auf die Lösung der Karbide in ihr zurück, so darf bei diesem Zustand keine Dauerdeformation der Schneide eintreten. Sie wird vielleicht nur elastisch und weicht aus. Hierzu sagt ALTENWERTH²⁾, daß "selbst unter schweren Zerspanbedingungen vermutlich nur Temperaturen um maximal $1\ 100^{\circ}\text{C}$ sich einstellen. Obwohl alle für Zerspantemperaturen wesentlichen Eutektiken über $1\ 100^{\circ}\text{C}$ gefunden wurden, muß auch bei niedrigeren Temperaturen im Kolkgrund mit flüssigen Phasen an den Oberflächen gerechnet werden. Es ist nicht anzunehmen, daß auf der gesamten Oberfläche eine Schmelzschicht auftritt, wohl aber, daß es innerhalb der Fläche im Mikrobereich örtlich zu Schmelzerscheinungen kommt". Ein Oberflächen-Schmelzen findet sich also schon weit unterhalb des Schmelzpunktes. Nach HUETTIG²⁷⁾ ist die Oberflächen-schmelztemperatur nur ungefähr 0,7 des Schmelzpunktes, der durch den völligen Zusammenbruch des Kristallgitters gekennzeichnet ist. Es ist also auch in niederen Temperaturen die Zeit einer Gefügeänderung des Schneidstoffes mit minderer Festigkeit vorhanden, die wieder rückgängig gemacht werden kann. Deshalb möchte ich mich am ehesten der ersten Erklärung anschließen. In ihr liegt am wahrscheinlichsten ein "Erholungseffekt". Außerdem zeigt Abb. 7 noch deutlicher den geringen Unterschied zwischen den 3 Versuchsreihen. Ein Herausragen einer Reihe muß als eine zufällige Erscheinung bewertet werden.

Deutlich herausgestellt sieht man die Tatsache der Erholung in Abb. 8. Hier sind nun die 1. und die 5. Werte eines jeden Tages aufgetragen als Mittelwert aus allen 3 Reihen. Die aus freier Hand den Punkten angeglichenen Kurven unterstreichen den großen Unterschied. Die Kurve der 5. Werte zeigt einen fortlaufenden geringen Abfall. Die Kurve der 1. Werte dagegen fällt steil ab, um sich mit fortschreitender Zeit mehr und mehr dem 5. Wert zu nähern. Je geringer die Gesamtleistung ist, umso geringer ist der Erholungs-

HARTMETALL

1. und 5. Wert pro Tag (gemittelt aus allen 3 Reihen)



effekt. Dies steht aber in einem gewissen Widerspruch zu der von mir gegebenen Erklärung, denn je geringer die Leistung eines Bohrers ist, also je stumpfer seine Schneiden sind, umso höher ist aber die Reibungswärme und damit die Möglichkeit einer schmelzflüssigen Phase gegeben.

Ist der Bohrer aber stumpf geworden und sind seine Schneiden abgetragen, so hat sich der Keilwinkel vergrößert, und die Abstützung der noch vorhandenen Schneide ist größer. Eine schmelzflüssige Phase auf der Oberfläche kann dann an diesem kompakten Hartmetallteil keine großen Veränderungen mehr zeigen. Und eine Erholung kann auch nicht mehr auftreten, denn wo keine scharfe Schneide war, kann sich auch keine zurückbilden. Der "Erholungseffekt" kann sich also nur innerhalb der gegebenen Möglichkeiten zeigen.

Faßt man nun die 5 Tageswerte eines jeden Bohrers zusammen und trägt den mittleren Tageswert in das Koordinatensystem ein, so kommt man zu dem Bild in Abb. 9. Es zeigt sich für jede Serie eine von links nach rechts abfallende Kurve entsprechend der geringer werdenden Leistung der Bohrer. Von dem vorher gezeigten Phänomen ist nun nichts mehr vorhanden; wodurch noch einmal betont wird, wie günstig sich die Aufteilung des Tageswertes in 5 Einzelwerte auswirkte. In den anderen Kurven liegt eine viel größere Möglichkeit, die Leistung der einzelnen Bohrer und Serien zu analysieren. Die Aussagen sind aufgrund der aufgeteilten Kurven viel sicherer. Wenn sich in Abb. 9 zeigt, daß an einzelnen Tagen der Wert einer Serie mal höher liegt als die Werte der Vergleichsserie, so muß man aber auch den weiteren Verlauf betrachten. Man gewinnt zwar den Eindruck, die unsterile Reihe zeige insgesamt gesehen ein höheres Niveau, und dies wird auch durch Abb. 10 bestätigt, aber zu einer sicher fundierten Aussage, es bestehe ein Unterschied zwischen den Reihen, reicht die Varianz nicht aus.

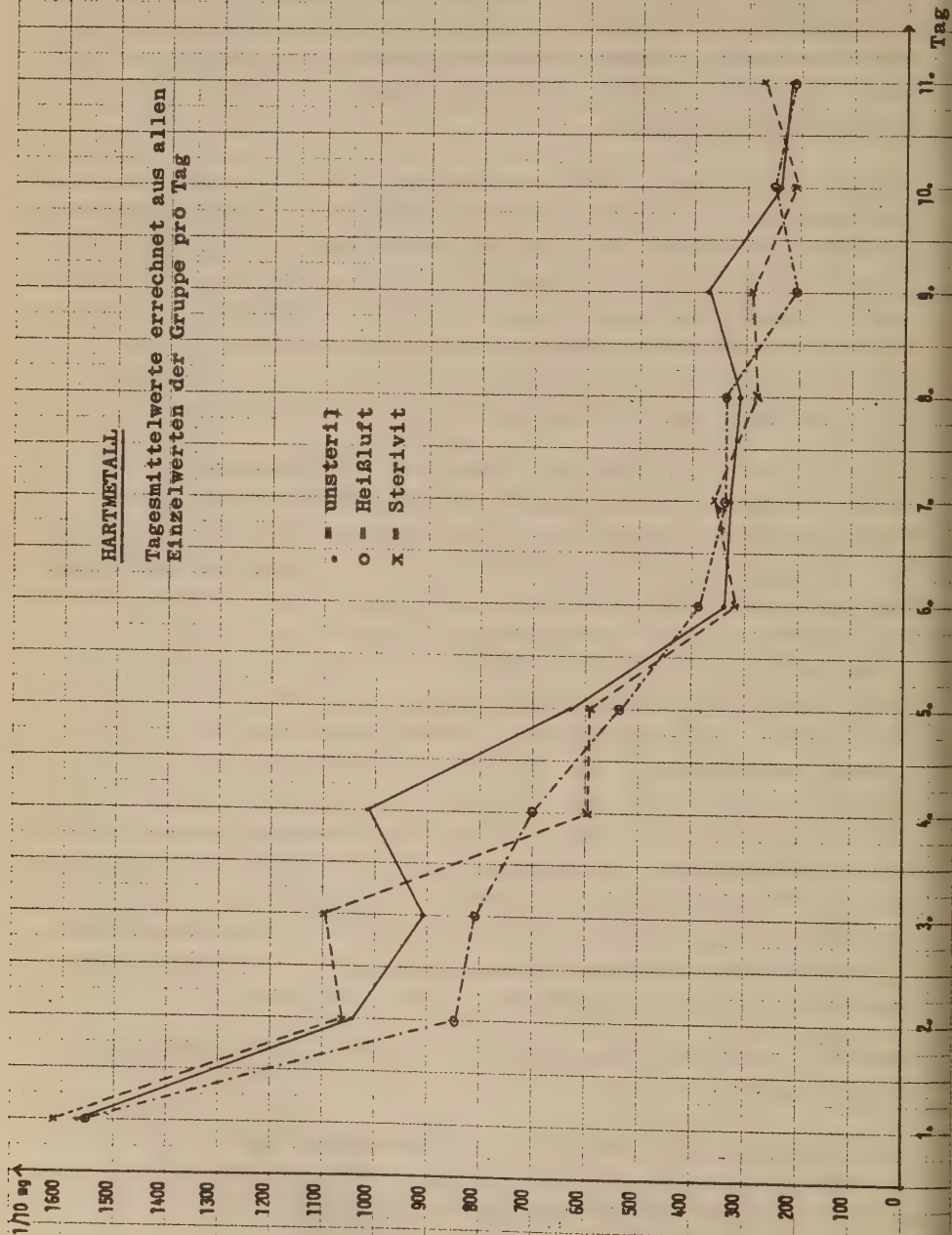
Aus all diesen Ergebnissen leitet sich dann die Beantwortung der Frage dieser Arbeit ab:

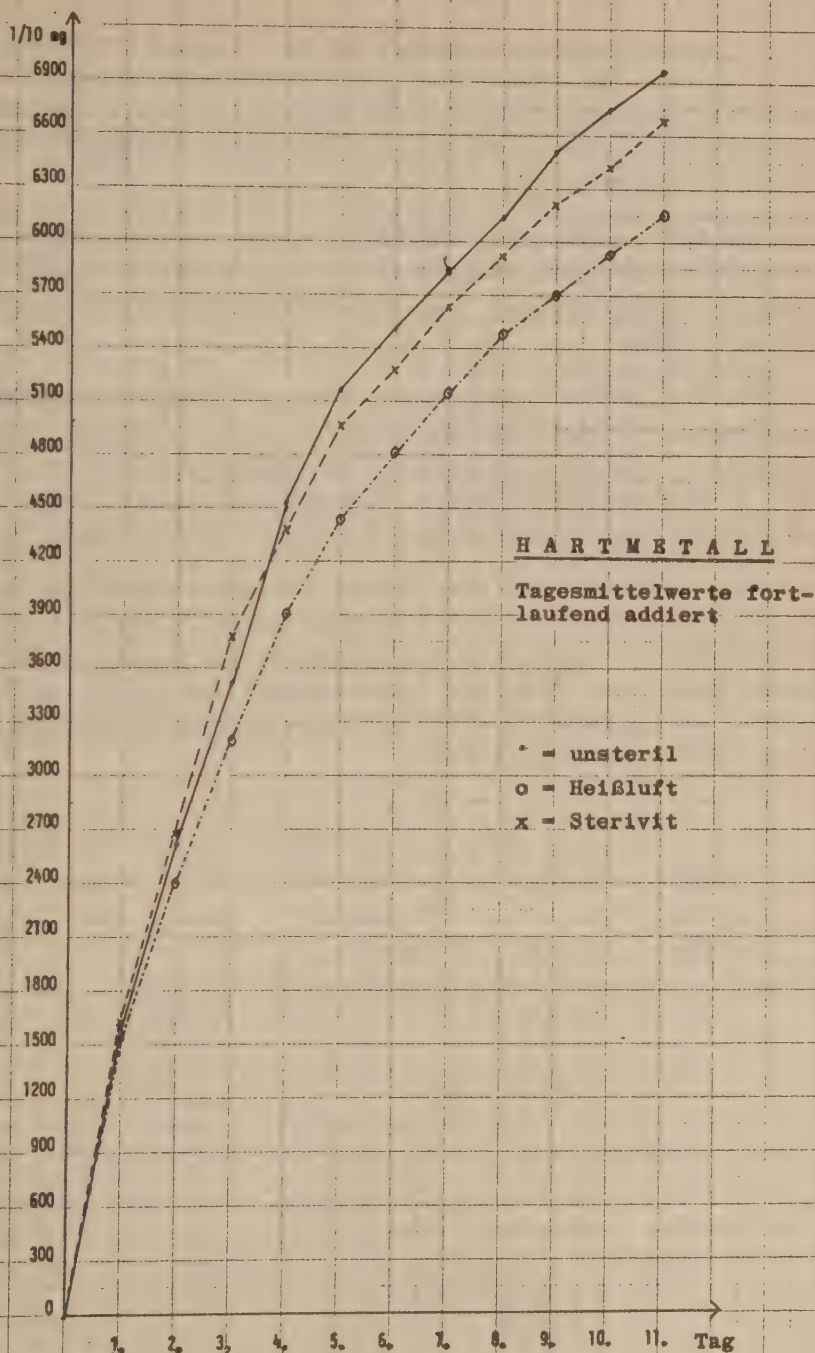
Haben die zwei Sterilisationsarten irgendeinen Einfluß auf die Schneidefähigkeit der Hartmetallbohrer? Hier verweise ich zunächst auf die statistischen Ausführungen S. 21 - 24.

HARTMETALL

Tagesmittelwerte errechnet aus allen
Einzelwerten der Gruppe pro Tag

· = unsteril
o = Heißluft
x = Sterivit





Die 5 Tageswerte jedes einzelnen Bohrers wurden zusammengefaßt zu einem Wert. Es ergaben sich also entsprechend der Anzahl der Bohrer 10 Werte pro Gruppe. Diese Werte als Ausdruck der Tagesgesamtleistung eines jeden Bohrers wurden mit den Werten der anderen Gruppen verglichen.

Bei dem Test nach Kruskal und Wallis wurden alle 3 Gruppen untereinander gleichzeitig verglichen. Es ergaben sich die in Abb. 11 a) aufgeführten Werte für T. Eine Signifikanz mit $P \leq 0,1$ % zeigte sich nur am 9. Tag.

Bei dem Test nach Wilcoxon wurden immer je 2 Reihen miteinander verglichen. Als Kombinationen bieten sich an: Unsteril - Heißluft, unsteril - Sterivit, Heißluft - Sterivit. Es ergaben sich die in Abb. 11 b) aufgeführten Werte. Eine Signifikanz mit $P \leq 0,1$ % zeigte sich nur bei der Kombination unsteril - Heißluft am 9. Tag.

Aufgrund der oben näher ausgeführten statistischen Auswertung kann ich sagen, daß sich bei der Versuchsanordnung Hartmetall - Kunststoff außer am 9. Tag kein Unterschied in der Leistung der 3 Versuchsreihen nachweisen läßt. Die Heißluft- und die Sterivit-Sterilisation zeigen weder einen positiven noch einen negativen Einfluß auf die Hartmetallbohrer.

11 a)

Test nach Kruskal und Wallis

Vergleich der 3 Gruppen insgesamt

11 b)

Test nach Wilcoxon

Vergleich zwischen I u. II

Vergleich zwischen I u. III

Vergleich zwischen II u. III

Tage	I	Signifikanz mit $p = 0,1\%$
1.	1	nein
2.	4	"
3.	4	"
4.	9	"
5.	1	"
6.	3	"
7.	0	"
8.	1	"
9.	15	ja
10.	2	nein
11.	2	"
1.-11.	0	"

Tage	u	Signifikanz mit $p = 0,1\%$	u	Signifikanz mit $p = 0,1\%$	u	Signifikanz mit $p = 0,1\%$
1.	0,08	nein	0,45	nein	0,83	nein
2.	1,66	"	0,16	"	1,63	"
3.	0,82	"	1,10	"	2,04	"
4.	2,29	"	2,69	"	-1,14	"
5.	1,10	"	0,31	"	0,82	"
6.	-0,65	"	0,75	"	-1,96	"
7.	0	"	0,13	"	0,08	"
8.	-0,08	"	0,97	"	-0,74	"
9.	3,51	ja	1,72	"	2,61	"
10.	0,24	nein	1,37	"	-1,14	"
11.	0,33	"	0,93	"	1,31	"
1.-11.	0,10	"	0,36	"	0,16	"

I = unsteril
 II = Heißluft
 III = Sterivit

Experimenteller Teil: Diamanten

Gleichartig wie die Versuche mit den Hartmetallbohrern soll auch eine vergleichende Untersuchung zwischen diamantierten Schleifern durchgeführt werden. Bei der Härte und Leistungsfähigkeit des Schleifermaterials ergab sich zuerst das Problem, ein geeignetes Objekt zu finden. Da mit den Diamantschleifern am Zahn nur der Schmelz bearbeitet werden sollte, mußte das Material eine ähnlich große Härte besitzen und auch in seinen sonstigen Eigenschaften dem Schmelz ähneln. Als geeignet und auch schon öfter zu solchen Versuchen verwendet (EICHNER^{15, 16}), FUHR¹⁹), GAERTNER²⁰) erwies sich das Schwerflintglas der Jenaer Glaswerke Schott & Gen., Mainz. Die Härte des Glases liegt zwischen 6 und 7 nach Mohs, also nahe der Schmelzhärte (Mohs 7). Die Glas-Sprödigkeit ist allerdings größer, was sich auch in der Streuung bei den Versuchen auswirkte; auch sonst zeigten sich dadurch noch einige Veränderungen.

Man hat früher angenommen, daß es sich beim Schleifvorgang an Glas um eine stetige Fortnahme kleinster Teilchen handelt, also um eine Art Schneidwirkung. Heute weiß man, daß es sich um Erzeugung einer rissigen Struktur handelt, aus der sich die Stoffteilchen selbständig lösen können. "Die Spanabnahme erfolgt also bei Glas weniger durch das Herausschneiden der unmittelbar vor der Schneide gelegenen Stoffteilchen, sondern eine größere Abnahme tritt erst ein, sobald die Zermürbung so weit fortgeschritten ist, daß die von den verschiedenen Schnittlinien ausgehenden Sprünge sich überschneiden und Teile wahllos herausbrechen. Die Zerspanung erfolgt nicht durch ein Herausschneiden einer Vielzahl von Spänen, sondern durch ein Auslösen der in dem Gefüge vorhandenen Spannungen sowie durch ein Herauswürgen einzelner Teilchen aus dem Verbande und nachfolgendes Abbröckeln benachbarter Stoffteilchen" (KRUEL³⁴). Dies tritt natürlich insbesondere bei dem spröden Glas auf.

Schmelz, der zwar auch eine gleiche Ritzhärte nach Mohs aufzeigt, besitzt aber noch organische Substanz und zeigt durch den besonderen Aufbau der Schmelzprismen eine plastische Verformbarkeit. So erfolgt das Abschleifen an Schmelz zwar nach demselben Prinzip, aber die Ausbeute dürfte doch wesentlich geringer sein. Dafür ist aber die Beanspruchung des Diamanten an dem spröden Material Glas höher.

In der Versuchsanordnung wurde genauso verfahren wie bei Hartmetall:

eine Reihe von 10 Diamantschleifern, die täglich in Heißluft sterilisiert wurden,

eine Reihe von 10 Diamantschleifern, die täglich in Äthylenoxyd sterilisiert wurden und

eine neutrale Vergleichsreihe von 10 Schleifern, die ohne jede Beeinflussung blieben.

In den täglichen Versuchsreihen wurden die Erfahrungen aus den Hartmetallversuchen angewandt: Jeder Bohrer wurde kurz hintereinander 5 x je 30 Sek. zum Einsatz gebracht und der Abrieb als Gewichtsverlust der Glasscheibe für jede 30 Sek. gewogen.

Die Versuche wurden in derselben Apparatur wie bei Hartmetall durchgeführt. Die Bedingungen wurden also ebenso konstant gehalten.

Legende zu Abb. 12 a) b)

13 a) b)

14 a) b)

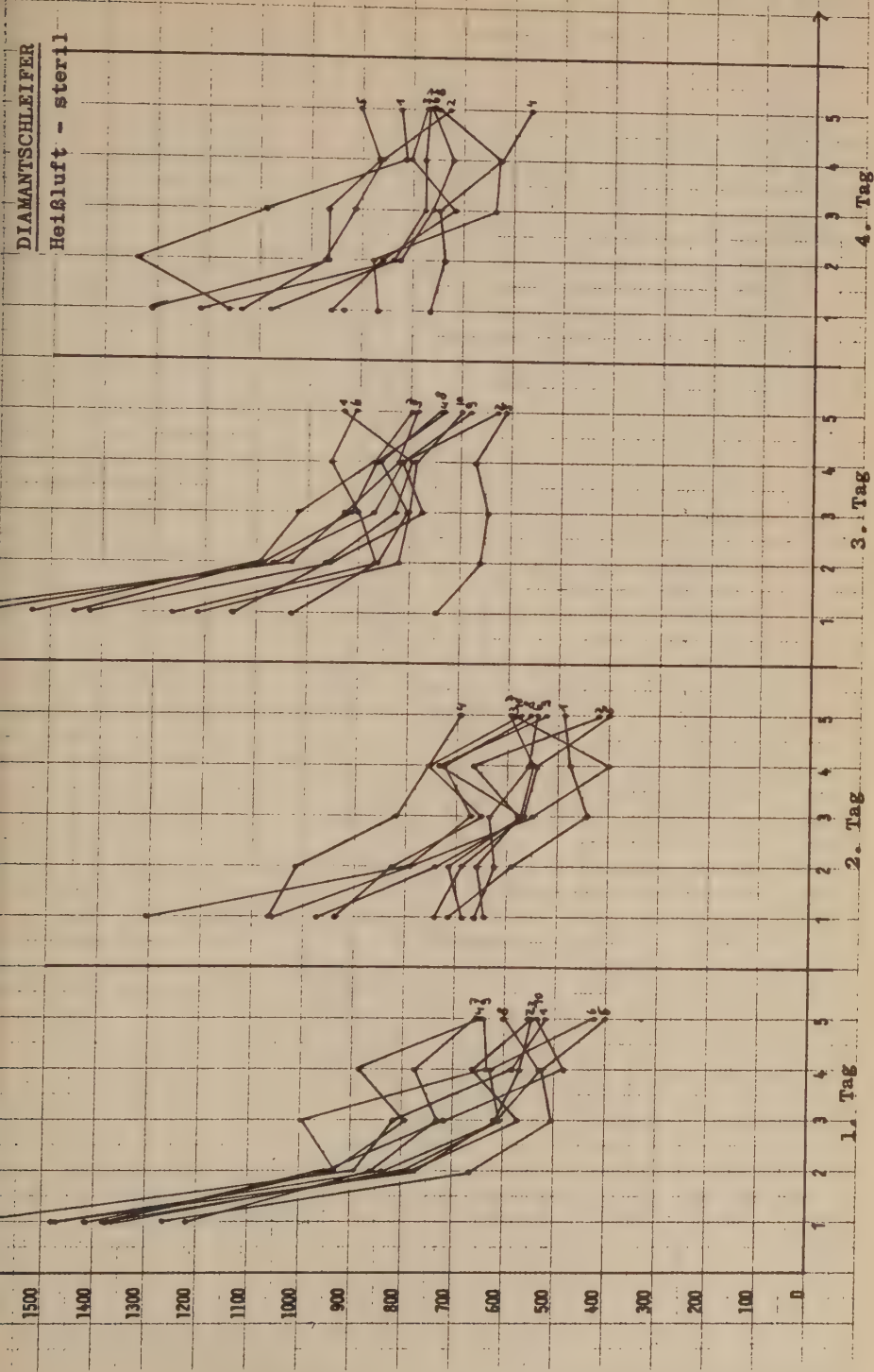
Leistungsabfall der einzelnen Schleifer.

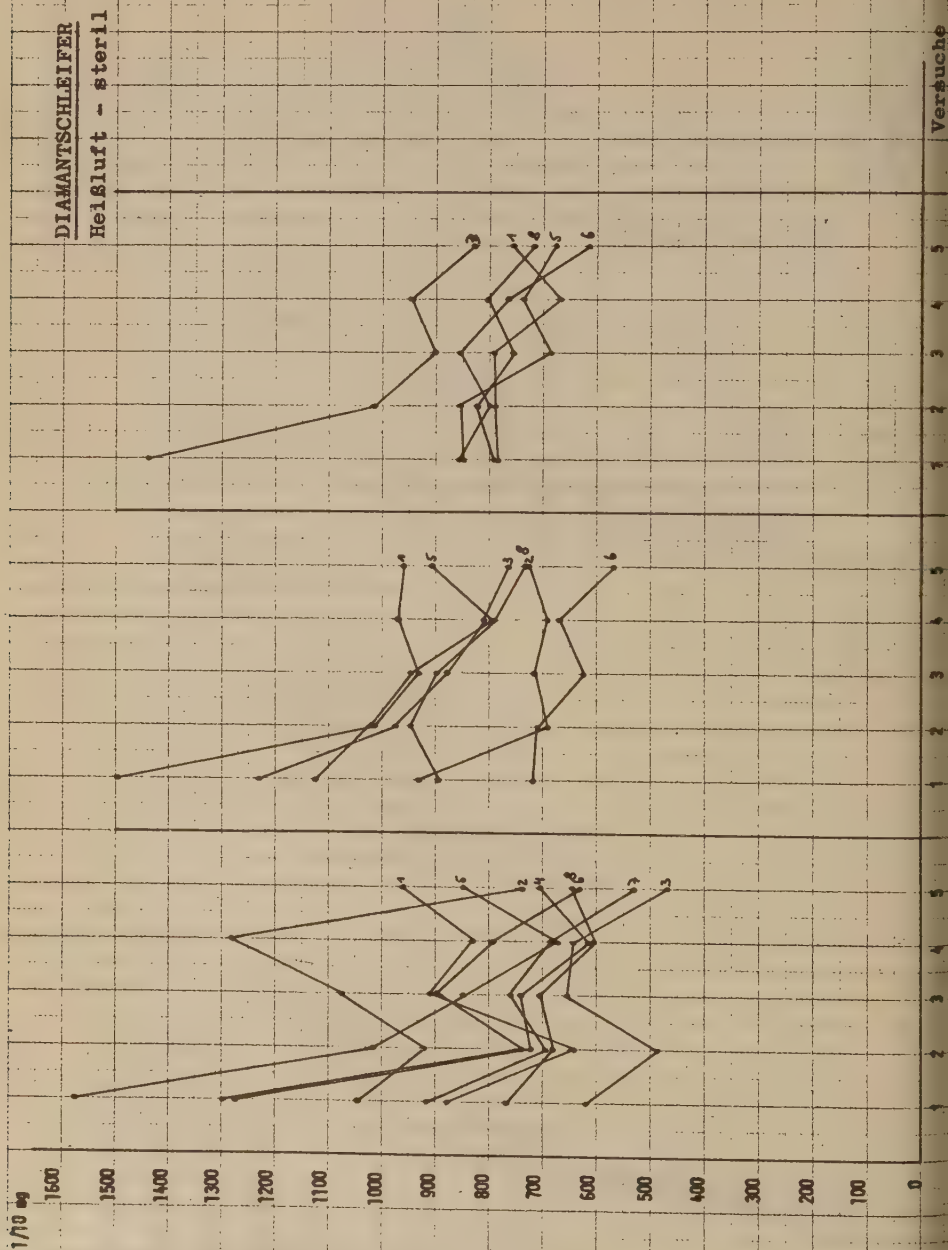
Kriterium der Leistung ist der Gewichtsverlust der Probescheibe pro Schleifeinsatz in 1/10 mg (Ordinate). Pro Versuch und pro Schleifer wurden je eine Scheibe verwandt. Auf der Abszisse stehen die Versuchstage und die Schleifeinsätze pro Versuchstag.

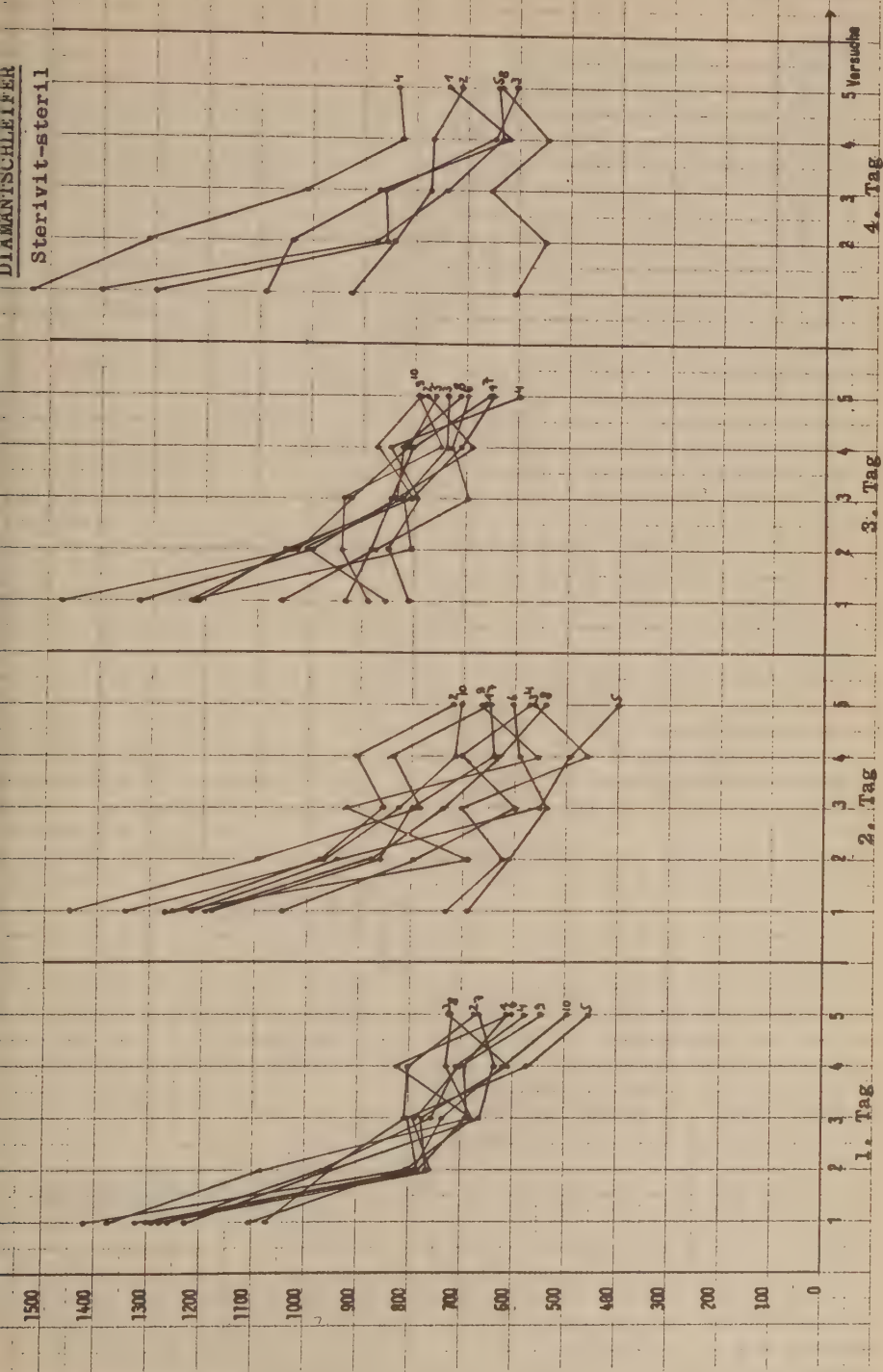
DIAMANTSCHLEIFER

Heißluft - steril

Abb. 12 a)

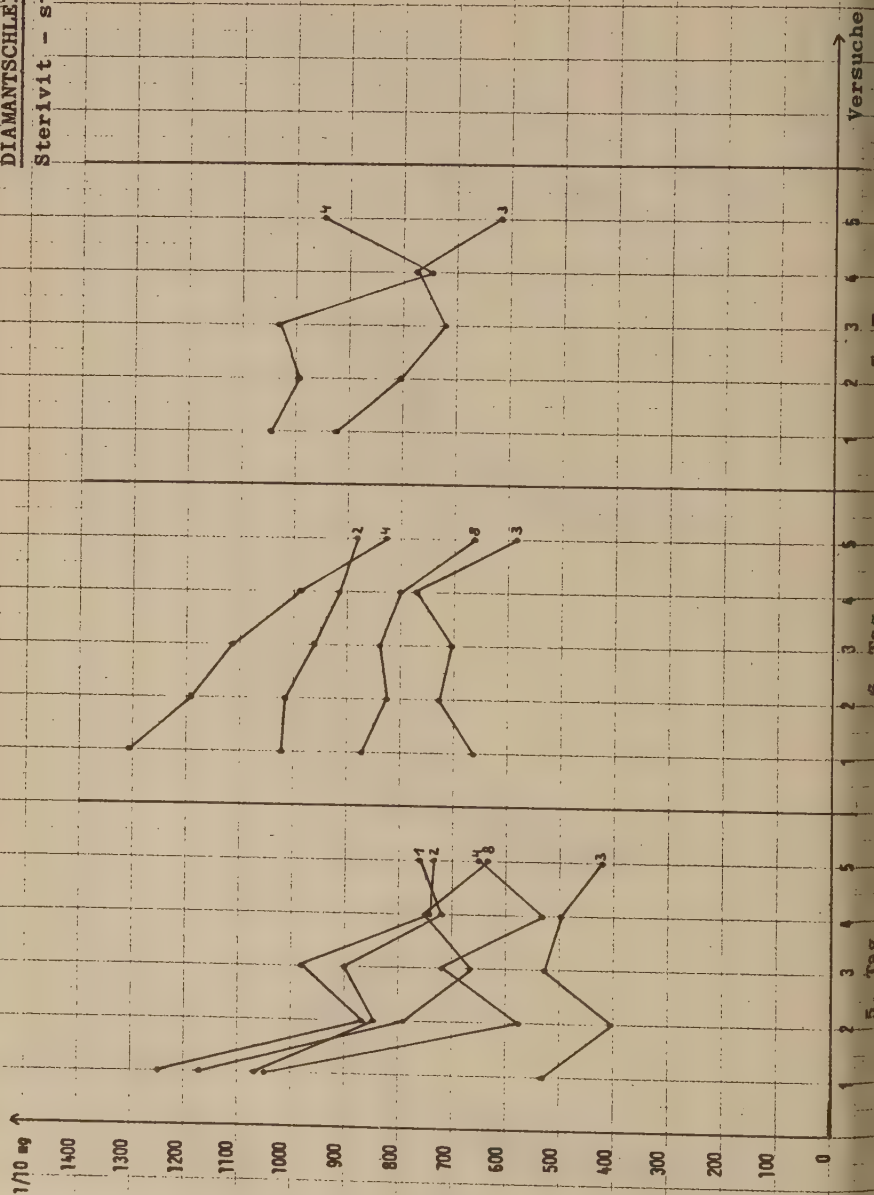






DIAMANTSCHLEIFER

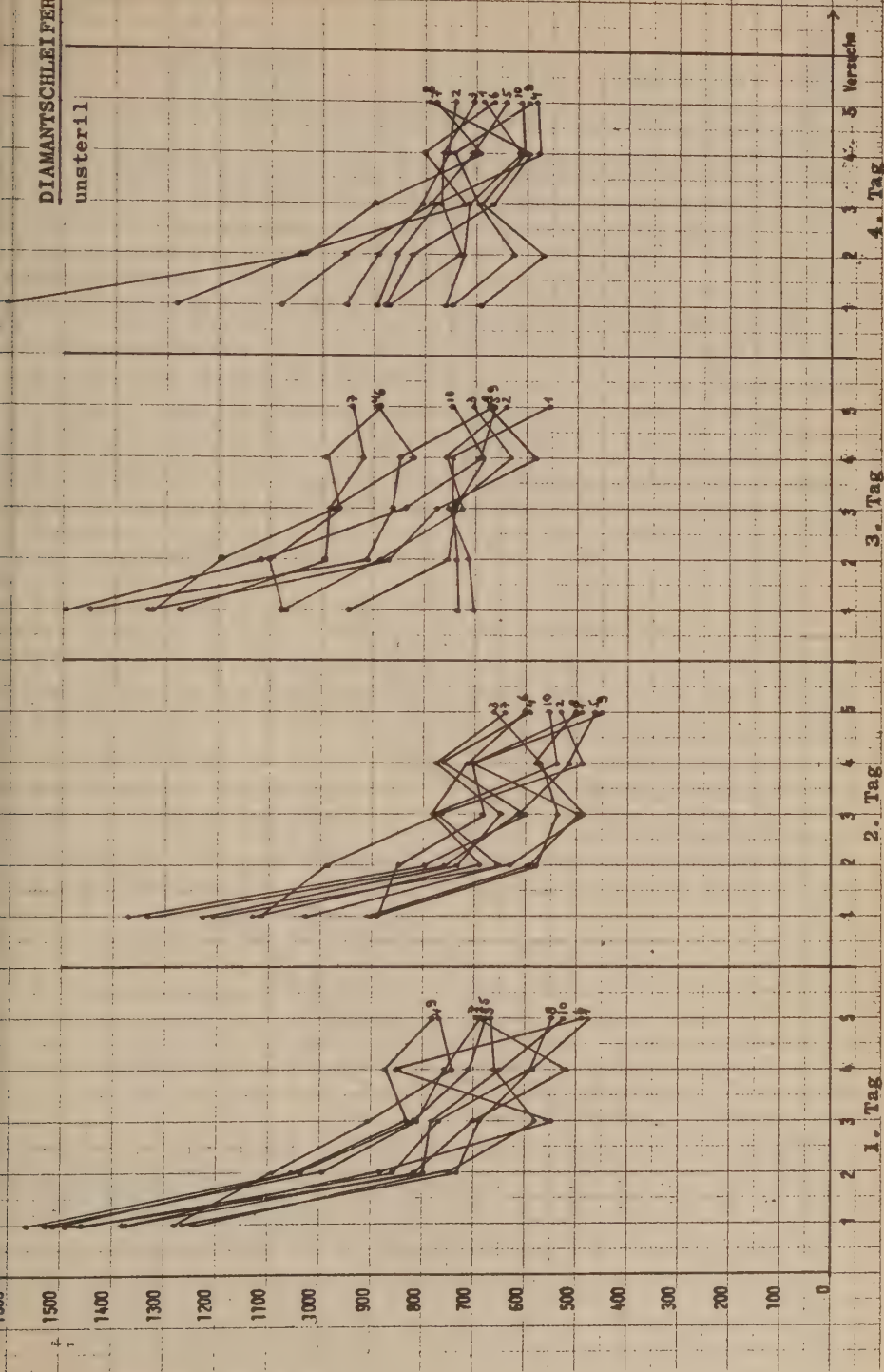
Sterivit - steril



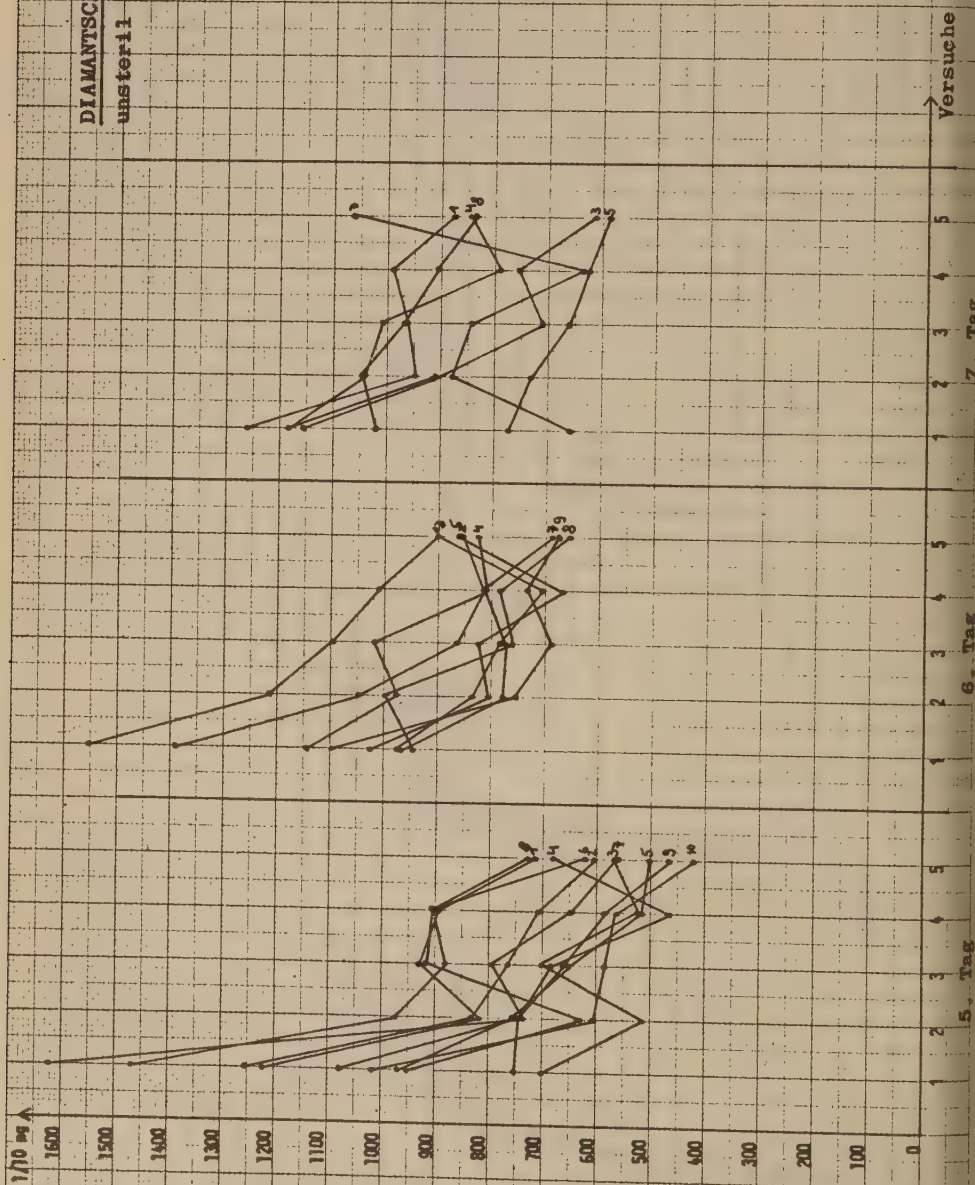
DIAMANTSCHLEIFER

unsteril

Abb. 14 a)



DIAMANTSCHLEIFER
unsteril



Versuchsreihe Diamanten

Abb. 12 bis 14 zeigen alle Einzelwerte der Schleifer:

Abb. 12 a) b) die Werte für die Versuchsreihe Heißluft,
Abb. 13 a) b) die Werte für die Versuchsreihe Sterivit,
Abb. 14 a) b) die Werte für die Versuchsreihe unsteril.

Es wurden 7 Tage lang hintereinander jeden Tag mit jedem Schleifer 5 Versuche durchgeführt. Am 1. Tag liegen die ersten Werte um 1400. Die Kurven fallen dann rasch ab auf Werte um 600 beim 5. Versuch. Die Streuung ist nicht allzu groß, aber es zeigen sich viele Abweichungen von einem stetigen Kurvenabfall vom 1. zum 5. Wert. An den folgenden Tagen ist der Verlauf der Kurven insgesamt gesehen gleich. Die Leistung des einzelnen Schleifers fällt vom 1. bis zum 5. Versuch an jedem Tag fortlaufend ab. Der 1. Wert der einzelnen Tage übertrifft allerdings weit den letzten Wert des Vortages.

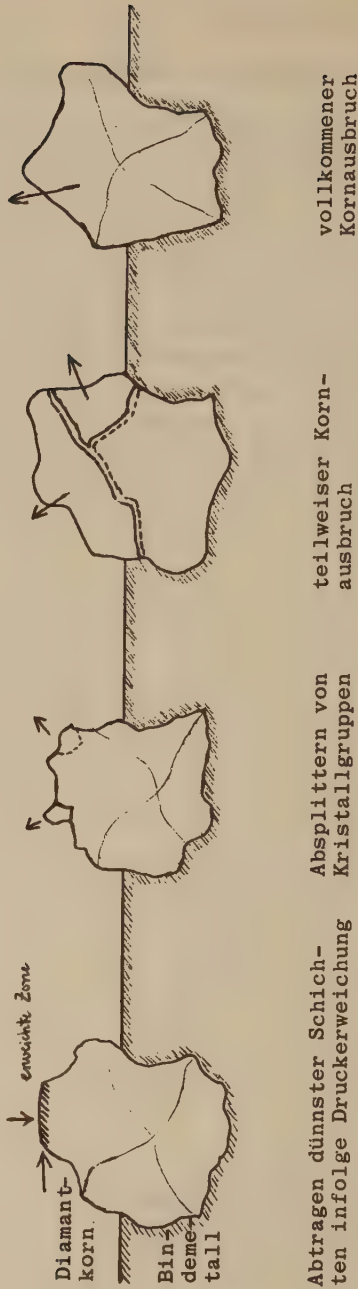
Besonders auffallend ist dann bei fortschreitender Zeit die ungewöhnlich große und unregelmäßige Streuung. Nicht nur, daß große Sprünge nach oben oder nach unten an jedem Tag und bei jedem Schleifer möglich sind, es gibt sogar welche, bei denen die Werte ansteigen, statt abzufallen. Es kann also jeder Schleifer zu jeder Zeit aus der Rolle fallen und vollkommen unzusammenhängende Ergebnisse zeigen. Zur Erklärung dieser Erscheinung muß ich zunächst auf die Verschleißformen des diamantierten Schleifers eingehen. Abb. 15 zeigt die Verschleißformen am einzelnen Korn.

Es gibt 4 Möglichkeiten des Kornverschleißes:

- a) Druckerweichung,
- b) Absplitterung von Kristallgruppen,
- c) teilweiser Kornausbruch,
- d) vollkommener Kornausbruch.

Die Druckerweichung findet statt, wenn durch Vorschub und Schnittgeschwindigkeit beim Zusammenprall mit dem Werkstoff die örtlichen Drucke an den Kristallspitzen und -flächen so groß werden, daß sie die Leistungsfähigkeit des Schleifermaterials übersteigen. Es besteht die Möglichkeit, daß dünnste Schichten erweichen und einer

Verschleißformen am Einzelkorn nach PEKLENK aus SCHWARTZ 53)



schnellen Abtragung verfallen. Diese Form des Verschleißes dürfte aber bei Diamantkristallen, als dem härtesten Naturstoff, weniger auftreten. Bei einer Kristallzacke, die keine allzu große Abstützung zum Hauptkorn hat, besteht schnell die Möglichkeit, daß eine momentane ungünstige Belastung hebelnd an ihr ansetzt und sie abreißt. Das Absplittern von Kristallgruppen dürfte wohl die häufigste und, was den Allgemeinzustand eines Schleifers angeht, ungefährlichste Verschleißform sein. Besonders scharfe Schneidspitzen werden zwar abgetragen, aber das Korn bleibt dem Schleifer erhalten.

Der teilweise Kornausbruch ist eine Folge länger dauernder Beanspruchung. Die beim Schleifeinsatz bei jeder Umdrehung während der kurzen Berührung mit dem Werkstoff auftretenden großen Wechselkräfte ermüden mit der Zeit das Kristallgefüge des Schleifermaterials. Eventuell vorhandene kleinste Unregelmäßigkeiten und Gitterfehler in der Kristallstruktur werden zum Ausgangspunkt eines Sprungsystems. Die nächste große Beanspruchung bricht dann das Korn auseinander und reißt die lockeren Teile mit weg. Wenn es gut geht, bleibt noch ein kleiner Rest vorhanden, der dann aber mit seinen neuen Sprungrändern wieder verstärkt den Werkstoff angreifen kann.

Der vollkommene Kornausbruch kann bedingt sein durch schlechte Halterung des Kornes im Bindemittel, d.h., wenn der Kristall zu wenig oder ohne unter sich gehende Stellen eingebettet ist. Oder es zeigen sich mit der Zeit Ermüdungserscheinungen im Haftmetall, die Halterung wird locker und deshalb das Korn in toto ausgeschlagen. Dies ist natürlich der größte Verlust und wird bald zur Unbrauchbarkeit eines Schleifers führen.

Betrachtet man nun die Erscheinungen der starken Streuung, die Unregelmäßigkeiten und das gegensinnige Leistungsverhalten der Schleifer unter diesen Aspekten, so ist manches erklärlich.

Sind Kristallgruppen abgesplittert und hat die Druckerweichung zur Ausbildung nicht mehr eines Grates, sondern eines Plateaus geführt, so wird die Leistung dieses Kornes bald nachlassen. Ragt dieses Plateau auch noch besonders hervor, so wird es die umliegenden Körner daran hindern, in den Werkstoff einzudringen.

Es ist ein Schleifhindernis, das selbst nichts mehr leistet, und die Leistung des Schleifers sinkt unverhältnismäßig stark ab. Entsprechende Kurven sind genügend vorhanden. Wird dieses Hindernis durch irgendein Ereignis beseitigt - vielleicht gewinnt dieses Korn sogar durch teilweisen Ausbruch neue Schneidränder -, so wird die Leistung des Schleifers wieder jäh ansteigen. Dies konnte auch MÜLLER⁴⁰⁾ bei seinen Versuchen feststellen.

Bei dem geringen Umfang der FG-Schleifer ist eine solche Auswirkung des Einzelkorns umso eher möglich.

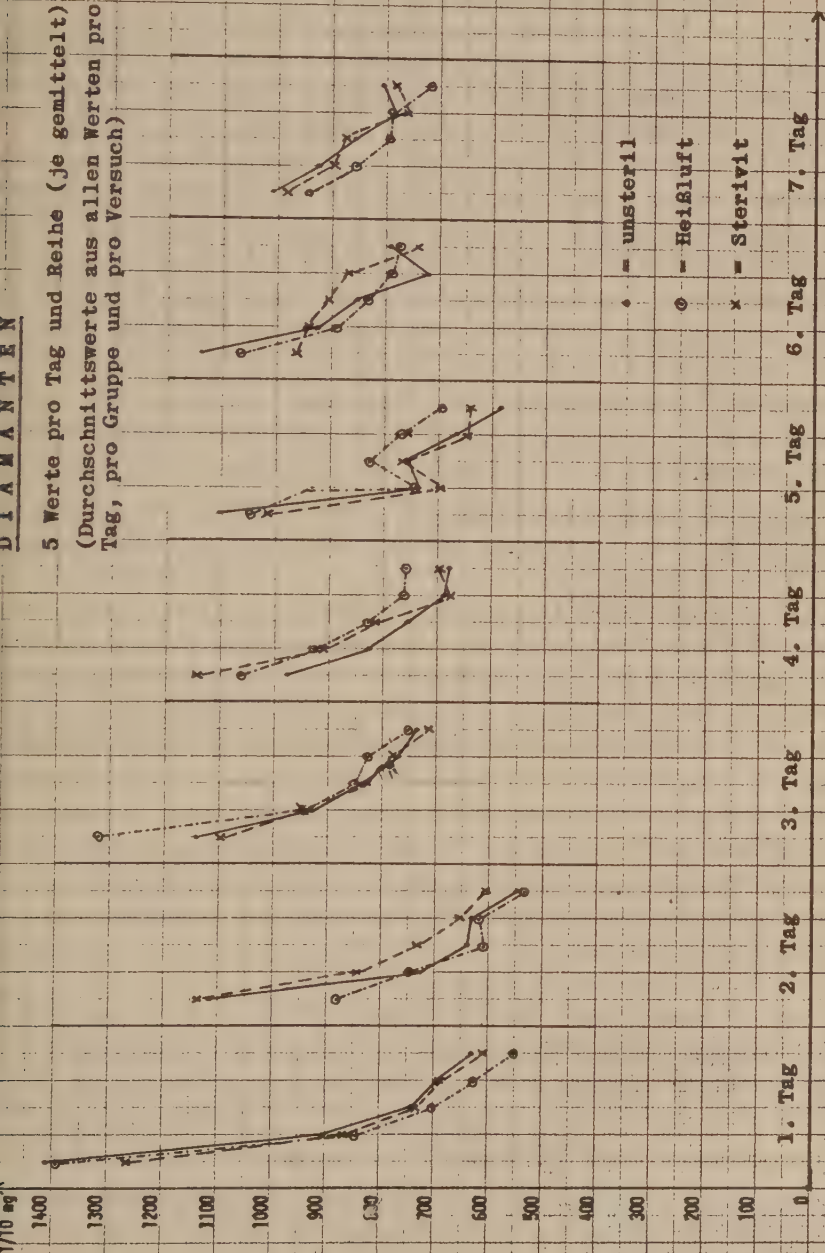
EICHNER¹⁵⁾ hat außerdem festgestellt, daß die Turbinenschleifer mit ihrer hohen Geschwindigkeit das Schleifobjekt nur einmal pro Umdrehung berühren. Ist dann gerade an dieser Stelle ein Hindernis auf dem Schleifer, so zeigen sich die oben erwähnten Auswirkungen. Entsprechende Ereignisse lassen sich in den Kurven leicht finden.

Überhaupt muß man feststellen, daß zwar zu Anfang eine stärkere Leistungsminderung eintritt, daß aber die Dauerleistung recht hoch und lange anhaltend ist. Dies erklärt sich so:

Die besonders hervorragenden Kristallgruppen schneiden tief ein und ergeben eine große Ausbeute. Ihre schwache Abstützung läßt sie aber bald absplintern, und noch übrig bleiben die kräftigen, soliden Zacken und Schneiden des Kornkörpers. Diese Schleifkraft hält dann lange an. Auf eine andere Erscheinung, die in etwa angedeutet ist - das leichte Ansteigen der Tagesmittelwerte -, gehe ich später noch ein.

Abb. 16 zeigt für jede Serie einen Mittelwert für jeden 30-Sek.-Tagesversuch. Hier tritt zunächst einmal ganz deutlich zwischen den einzelnen Tagesblöcken ein "Erholungseffekt" in den Vordergrund. Wie bei Hartmetall zeigt auch hier der 1. Wert eines jeden Tages eine erheblich höhere Leistung, als der letzte am Tage vorher vermuten läßt. Der Unterschied zwischen den beiden nimmt zwar mit der Zeit ab, bleibt aber immer deutlich vorhanden. Nun konnte ich feststellen, daß diese Erscheinung auch bei anderen Untersuchungen schon aufgetreten war. MÜLLER⁴⁰⁾ stellte in seiner Arbeit über Diamantschleifkörper im Tourenbereich bis 17 000 UPM folgendes fest:

5 Werte pro Tag und Reihe (je gemittelt)
(Durchschnittswerte aus allen Werten pro
Tag, pro Gruppe und pro Versuch)



"Nach der Unterbrechung einer Versuchsreihe für einige Stunden konnte ich bei meinen Versuchen oft feststellen, daß die Höhe des Abschleiffs etwa 3 bis 4 Minuten lang über den vorherigen Werten lag. Dies kann ich mir nur so erklären, daß die Schleifkörner durch den hohen spezifischen Druck in das Bindungsmetall absinken. Während einer größeren Ruhepause können sich die Spannungen, welche im Bindungsmetall durch das Absinken der Schleifkörner entstanden sind, wieder ausgleichen. Die Schleifkörner treten wieder stärker in das Schleiffeld hinein. Die Höhe des Abschleiffs nimmt etwas zu". Er beschreibt also den gleichen Vorgang an Diamantschleifkörpern niederer Tourenzahl. THIEL⁵⁵⁾, der auch über Diamantschleifer arbeitete, teilt folgendes mit: "Bei dieser Tourenzahl ergab sich eine sehr interessante Nebenfeststellung. Nachdem der Diamantschleifkörper 2 Tage nicht benutzt worden war, zeigte er eine größere Schleifleistung als vor seinem "Ausruhen". Erklären könnte man dieses Phänomen so, daß durch den Druck und Wärme bei längerem Schleifen das Basismetall elastisch deformiert wird. Läßt man diesem Metall nun Zeit, damit sich die Metallkristalle wieder in die ursprüngliche Lage zurückbegeben können, so sind die Diamantkristalle, die vorher etwas versenkt waren, wieder in der alten Lage, und die Schleifleistung steigt über den zuletzt festgestellten Wert hinaus. Dies konnte ich an mehreren Schleifkörpern feststellen. Die Leistung stieg schon nach einem "Ausruhen" von 2 bis 3 Stunden". Die beiden Autoren beschreiben also das gleiche und haben auch eine ziemlich übereinstimmende Erklärung. Es war allerdings bei beiden nur ein Zufallsbefund. Durch die Aufteilung der Tageswerte in 5 Einzelwerte in meiner Versuchsanordnung kommt diese Erscheinung ganz klar zum Vorschein. Durch die Bemerkungen der beiden oben zitierten Autoren, die beide mit anderer Versuchsanordnung arbeiteten, sind auch die Bedenken gegen das von mir verwandte Arbeitssystem als Ursache hinfällig. Die Erklärung für diese Erholung geht von meiner Seite in die gleiche Richtung. Eine Beschädigung des einzelnen Diamantkorns kann, abgesehen vom "normalen" Verschleiß, nicht vorliegen. Es muß eine reversible Veränderung im Bindemetall die Ursache sein. Das Einzelkorn kann sich vorübergehend der Beanspruchung entziehen. Ein Zusammenwirken von Druck und Reibungswärme könnte dies wohl bewirken. Durch Absetzen dieser Beeinflussung hat dann das Bindemetall die Möglichkeit, den Vorgang

rückgängig zu machen. Es erscheint wieder die tatsächliche Leistung, vermindert um einen gewissen Verschleißschaden.

faßt man jetzt die 5 Tageswerte zusammen, so fällt der Erholungseffekt ganz weg, und es erscheint die Darstellung auf Abb. 17 b). Diese Werte sagen zwar aus, was von den Schleifern durchschnittlich am Tag geleistet wurde, aber sie zeigen nicht mehr, auf welchem Wege dies erreicht wurde. Dafür ist eine andere Erscheinung durch diese Werte zum Ausdruck gekommen: Die durchschnittliche Leistung pro Tag sinkt nicht mit fortschreitender Zeit ab, sie steigt eher noch an. Verdeutlicht wird dies noch durch Abb. 17 a). Hier sind die ersten Werte eines jeden Tages aufgetragen. Sie sinken ab, wie es auch bei fortschreitendem Verschleiß erwartet werden sollte. Die 5. Werte, die auf der gleichen Abbildung darunter aufgetragen sind, steigen dagegen an. Die Geraden sind zwar aus freier Hand eingezeichnet, drücken aber den Verlauf der Punkte in etwa aus.

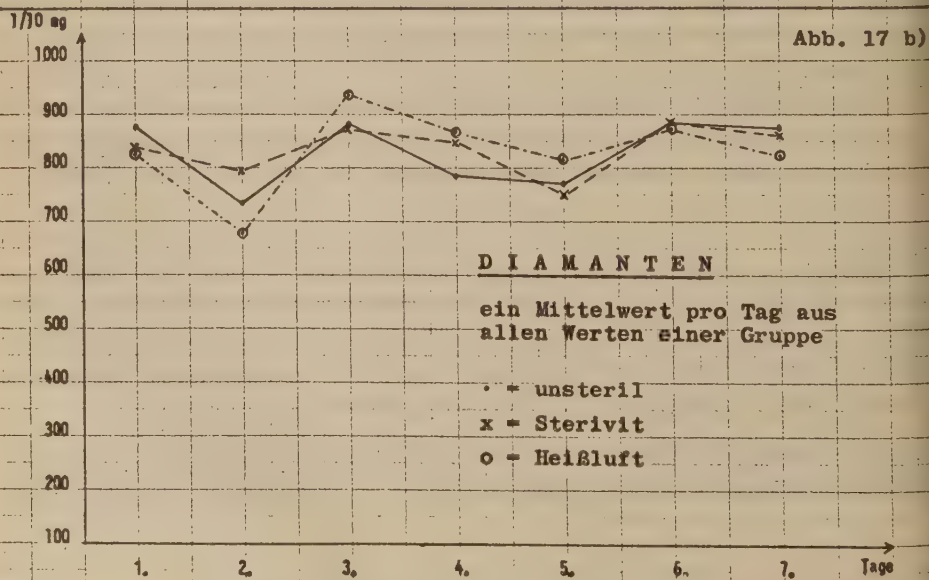
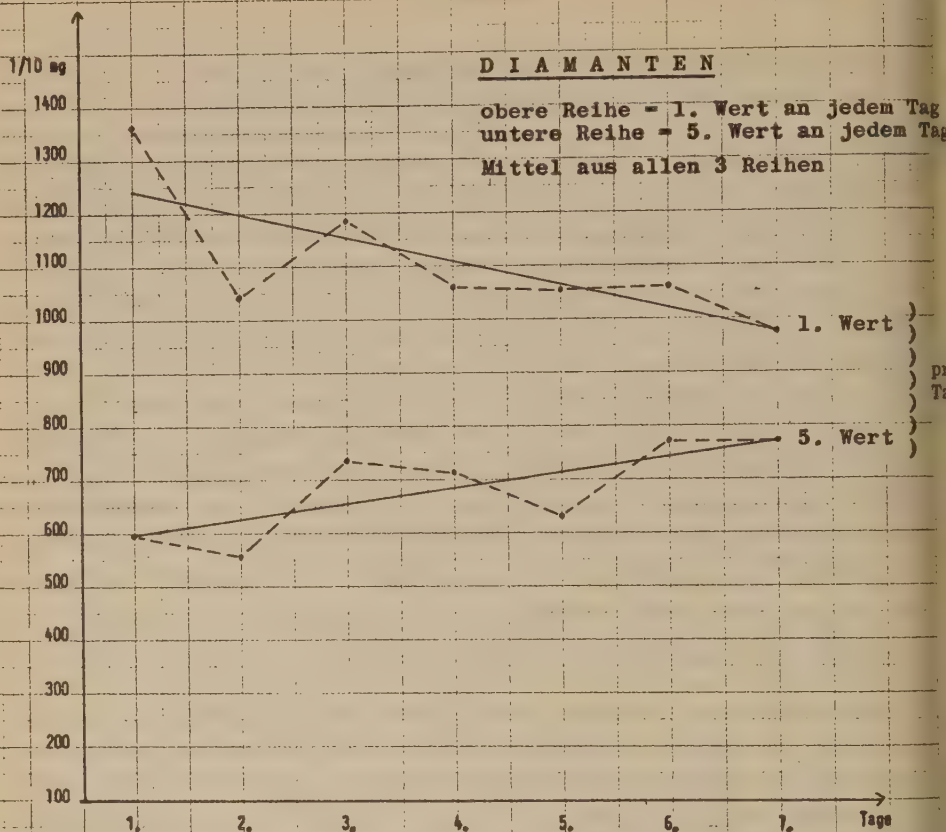
Diese ganzen Tatsachen klingen etwas unwahrscheinlich, lassen sich aber aus der Kombination Glas/Diamantschleifer leicht erklären.

Wie der Abrieb bei Glas vonstatten geht, habe ich oben schon näher erklärt. Glas ist ein äußerst spröder Stoff und wird mehr zertrümmert als abgeschabt. Wird nun der Schleifer mit stärker werdendem Verschleiß unregelmäßiger in seinem Belag und beginnt vielleicht auch das Bindemetall sich vom Träger abzulösen, so wird der Schleifkörper unrund, er fängt an zu schlagen. Und damit trifft er auf die schwächste Eigenschaft des Glases, die Sprödigkeit. Der Schleifer zertrümmert noch mehr Werkstoff als vorher, die Leistung steigt an. Die tatsächliche Schneidleistung wird vollkommen überdeckt. Daß aber ein Absinken der Leistung vorhanden ist, zeigen die 1. Werte (Abb. 17 a)).

So brachte die Aufschlüsselung der Tagesleistung in 5 Werte doch ganz beträchtlich neue Aspekte. Die Aussagemöglichkeiten über das Verhalten eines Schleifers sind erheblich größer. Andererseits sind durch Phänomene, die sonst nur Zufallsbefund sind, hier durch ihr regelmäßiges Erscheinen in ihrer Form gesichert.

Nach der Besprechung der bei den einzelnen Darstellungen besonders hervortretenden Merkmale kann ich jetzt die eigentliche Aufgabe der

Abb. 17 a)



Arbeit beantworten.: Hat die Heißluft- oder die Sterivit-Sterilisation einen Einfluß auf die Leistung der Diamantschleifer? Was man bei den verschiedenen Kurven und Darstellungen optisch schon einigermaßen erfassen konnte, reicht noch nicht aus. Hierzu war eine genauere statistische Analyse notwendig. Sie wurde entsprechend den auf S. 21 gemachten Ausführungen auch bei den Diamantschleifern angewandt. Bei dem Test nach Wilcoxon werden alle 3 Gruppen (unsteril, Heißluft, Sterivit) gleichzeitig miteinander verglichen. Die 5 Tageswerte jedes Schleifers werden ebenso wie bei Hartmetall (S. 38) zusammengefaßt und der Summenwert als Ausdruck der Tagesgesamtleistung zum Vergleich herangezogen, so daß in jeder Gruppe 1 Wert pro Schleifer vorhanden war. Abb. 18 a) zeigt die T-Werte für jeden einzelnen Tag und den Vergleich 1. bis 7. Tag. Eine Signifikanz von $P \leq 0,1\%$ wäre vorhanden bei $T \geq 13,8$. Dies ist jedoch nie der Fall.

Abb. 18 b) zeigt die u-Werte des Testes nach Kruskal und Wallis. Es werden bei diesem Test immer je 2 Gruppen verglichen, und es bieten sich die Kombinationen unsteril - Heißluft, unsteril - Sterivit und Heißluft - Sterivit an. Eine Signifikanz mit $P \leq 0,1\%$ wäre vorhanden bei $u \geq 3,29$. Dies ist jedoch nie der Fall.

Als Ergebnis der statistischen Auswertung kann man demnach die Aufgabenstellung dieser Arbeit für Diamanten folgendermaßen beantworten: Die mit dieser Versuchsanordnung durchgeführten Versuche zeigen, daß sich bei der Heißluft- und der Sterivit-Sterilisation weder ein negativer noch ein positiver Einfluß auf die Leistung der FG-Diamantschleifer nachweisen läßt.

Unterstreichen möchte ich dies noch mit der Abb. 19, bei der die Tagesmittelwerte der 3 Reihen fortlaufend addiert wurden. Ein geringerer Unterschied, als der hier sichtbare, ist wohl kaum möglich.

Abschließend möchte ich aber noch auf eine Tatsache zurückkommen, die schon in allen bisherigen Darstellungen der Diamantergebnisse enthalten ist. Bei den Vorversuchen hatte es sich herausgestellt, daß die Versuchsbedingungen doch harte Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Schleifer stellten. Waren sie längere Zeit in Gebrauch, so kam es zum Ausbruch des Diamantbelages, und stellenweise platzte sogar das ganze Bindemetall vom Träger ab, so daß der

18 a)

Test nach Kruskal
und WallisVergleich der
3 Gruppen ins-
gesamt

Tage	I	Signifikanz mit $p = 0,1\%$
1.	2,35	nein
2.	5,71	"
3.	2,79	"
4.	1,21	"
5.	5,84	"
6.	4,01	"
7.	9,90	"
1-7.	0,16	"

18 b)

Test nach Wilcoxon

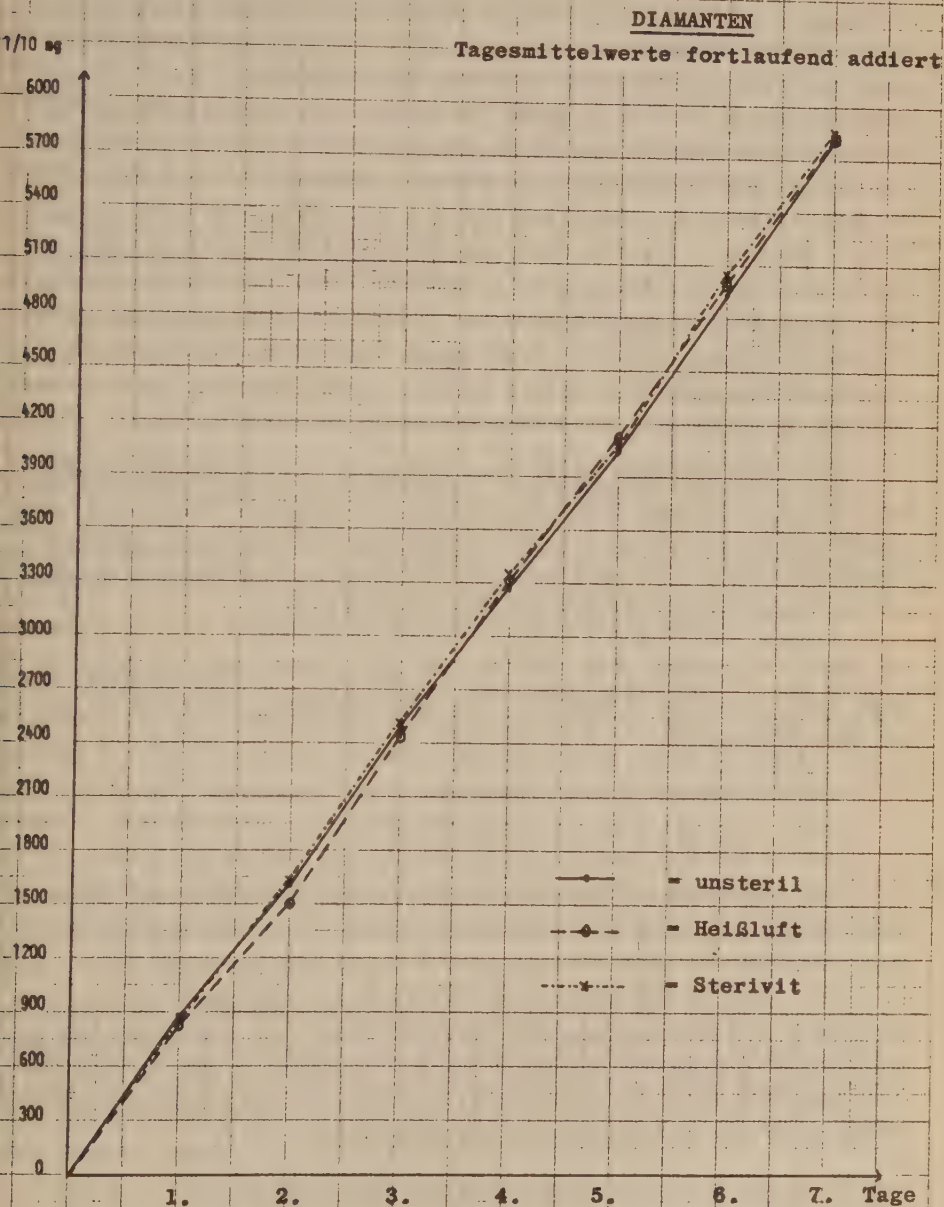
Vergleich
zwischen
I u. IIVergleich
zwischen
I u. IIIVergleich
zwischen
II u. III

Tage	II	Signifikanz mit $p = 0,1\%$	III	Signifikanz mit $p = 0,1\%$	II u. III	Signifikanz mit $p = 0,1\%$
1.	1,36	nein	1,21	nein	0,42	nein
2.	1,51	"	1,36	"	2,12	"
3.	0,83	"	0,23	"	2,12	"
4.	1,42	"	1,09	"	0	"
5.	0,80	"	0,12	"	0,59	"
6.	0,13	"	0,17	"	0,43	"
7.	0,91	"	0,67	"	0,39	"
1-7.	0,32	"	0,32	"	0,19	"

I = unsteril

II = Heißluft

III = Sterivit



blanke Schaft zum Vorschein kam. Dies mußte natürlich im Versuchsverlauf beachtet werden. Klinisch sind solche Schleifkörper mit unbelegten Stellen nicht mehr brauchbar. Sie fangen an zu "schlagen", und die Reibungswärme nimmt durch die blanken Stellen erheblich zu. Um eine objektive Beurteilung zu bekommen, ging ich nun folgendermaßen vor: Nach jedem Tag wurden die Schleifer nach einem nur mir bekannten System geordnet und dann einer neutralen Testperson zur klinischen Beurteilung vorgelegt. Es erfolgte eine Untersuchung der Schleifer mit der Lupe. Wurde eine unbelegte Stelle bemerkt, so wurde dies von der Testperson notiert. Von mir wurde dies im Versuchsprotokoll vermerkt. Die beschädigten Schleifer wurden aber weiterhin benutzt, um festzustellen, ob sich irgendeine charakteristische Abweichung von den noch brauchbaren zeigen würde. Dies war dann allerdings nicht der Fall, und so wurden sie ab ihrer Beschädigung nicht mehr mitbewertet.

In dieser Beschädigung hätte aber außerdem noch eine Beurteilungsmöglichkeit zwischen den 3 Versuchsreihen gelegen. Wären z.B. bei einer Reihe alle 10 Schleifer ausgefallen und bei einer anderen Reihe kein einziger, so hätte ein statistisch gesicherter Unterschied vorgelegen. Das war aber nicht der Fall.

Ab dem 3. Tag stieg zwar die Zahl der Schleiferausfälle rasch an, ohne aber eine Gruppe besonders zu kennzeichnen. Nach dem 7. Tag war das Verhältnis

unsteril	-	Heißluft	-	Sterivit
4	-	3	-	1

Man sieht zwar ein schnelleres Erliegen der Schleifer bei Sterivit; dies berechtigt aber nicht zu einer statistisch gesicherten Aussage. Daß die Schleifer schon nach 7 Tagen zum Erliegen kamen, liegt zu einem Teil in dem spröden Werkstoff Glas begründet zum anderen trug dazu die Erscheinung der "Rattermarken" bei. Man kann sie so beschreiben: Rattermarken sind durch Schwingungen des Werkstücks oder des Werkzeugs verursachte typische Niveauunterschiede auf der Oberfläche des Werkzeugs oder des Werkstücks.

Die in dieser Arbeit verwendete Versuchsanordnung ist in ihrer technischen Definition ein "Außenrunds Schleifen". Der Aufbau und

die Voraussetzungen dabei machen das Außenrunds Schleifen sehr anfällig für Schwingungen. "Diese rufen einmal auf dem Werkstück Rattermarken hervor, die zwar von geringer Tiefe sind, aber das Tragbild des Werkstücks beeinflussen können. Weiterhin wirken sich die der Schleifkraft überlagerten Wechselkräfte auf die Schleifscheibe aus und können zu einem progressiven Verschleiß der Scheibe und zur Beendigung der Standzeit führen" (SCHWARTZ⁵³). Bei diesen Schwingungen muß man unterscheiden zwischen:

- a) fremd erregten Schwingungen und
- b) selbst erregten Schwingungen.

Die fremd erregten Schwingungen haben ihre Ursache in Antrieb und Lagerung der Teile. Ihre Beseitigung ist bei genauer Arbeitsweise zum großen Teil möglich. Beim Schleifen sind aber noch die selbst erregten Schwingungen zu erwarten. Ihre Ursache ist eine einmalige Energieeinleitung, wobei Werkzeug und Werkstoff ein schwingungsfähiges System darstellen. SCHWARTZ⁵³) führt hierzu noch aus: "Schließlich kommt noch hinzu, daß die Schleifscheibe elastisch und dadurch an der Schnittstelle eine Federkopplung gegeben ist. Da alle diese Dinge verfahrensmäßig bedingt sind, lassen sich die selbst erregten Schwingungen nur wenig beeinflussen".

Diese Dauerwechselbeanspruchung wirkt sich natürlich an der Schleifscheibe - hier Diamantschleifer und Hartmetallbohrer - aus. Das spröde Material hält die dynamische Belastung nicht lange aus. Der Schleifer bzw. Bohrer verschleißt sehr schnell und ungleichmäßig jeweils entsprechend der Einwirkung der Wechselbelastung. Andererseits kommen durch die Veränderung der Hauptschleifstelle Teile mit noch brauchbarer Schärfe zum Einsatz. Auch daraus erklären sich dann Streuungen im Standzeitverhalten der Bohrer und Schleifer.

Die hier beschriebenen Schwingungen beim Schleifen und ihre Auswirkungen als Rattermarken auf Werkstück und Werkstoff können damit nicht erschöpfend dargestellt werden. Es ist aber doch ersichtlich, welchen Einfluß sie auf das Standzeitverhalten eines Schleifers nehmen können.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen der Heißluft- und Sterivit-Sterilisation auf die Schneidefähigkeit der FG-Hartmetallbohrer und FG-Diamantschleifer untersucht. Es wurde mit den Hartmetallbohrern an Kunststoff und mit den Diamanten an Glas gearbeitet. Als Antrieb der Bohrer und Schleifer wurde der Borden-Airotor verwendet, der eine Umdrehungszahl von 300.000 bis 350.000 gestattet (höchsttouriger Drehzahlbereich).

Die Ausbeute wurde durch Wiegen der Bohrproben vor und nach dem Versuch erfaßt. Es wurden 6.000 Einzelversuche durchgeführt. Als Ergebnis wurde ermittelt

a) bei Hartmetallbohrern:

1. Es läßt sich bei der Heißluft- und bei der Sterivit-Sterilisation weder ein positiver noch ein negativer Einfluß auf die Leistung der Hartmetallbohrer nachweisen.
2. Die Hartmetallbohrer zeigen bei Versuchen im Tagesabstand einen "Erholungseffekt", der auf einer schmelzflüssigen Phase und einer dadurch verursachten, vorübergehenden Gefügeänderung der Schneide beruhen dürfte.

b) bei Diamantschleifern:

1. Es läßt sich bei der Heißluft- und bei der Sterivit-Sterilisation weder ein positiver noch ein negativer Einfluß auf die Schneidefähigkeit der FG-Diamantschleifer nachweisen.
2. Die Diamantschleifer zeigen bei Versuchen im Tagesabstand einen "Erholungseffekt", der auf eine reversible Veränderung des Bindemetalls zurückzuführen sein dürfte.
3. Die Diamantschleifer zeigen im Tagesmittelwert eine ansteigende Leistung. Die mit fortschreitendem Verschleiß unregelmäßiger werdenden Schleifer verursachen an dem spröden Material Glas eine größere Zertrümmerung und täuschen dadurch eine größere Leistung vor.

Literaturverzeichnis

- Adler, F. Der Einfluß von Vorschubkraft und Drehzahl
 (5.000 - 160.000 U/Min.) beim Fräsen von
 Amalgam und Elfenbein mit Hartmetallbohrern
 (Fräsen).
 Dt. zahnärztl. Z. 15, 71-77; 1960
- Altenwerth, F. Abrieb und Phasengrenzflächenreaktionen bei
 der Zerspanung an den Kontaktzonen der Werk-
 zeuge und ihre Abhängigkeit von der Zusam-
 mensetzung und dem Gefügebau der Hartme-
 tall-Legierungen.
 Diss. TH Aachen, 1958
- Axer, H. Über die Ursachen des Verschleißes an Hart-
 metall-Drehwerkzeugen.
 Diss. TH Aachen, 1956
- Bartling, G. Untersuchungen über Leistungsfähigkeit und
 Lebensdauer der zahnärztlichen Stahl- und
 Hartmetallbohrer.
 Dt. zahnärztl. Z. 9, 715-724; 1954
- Bauer, R. K. Persönliche Mitteilungen
- Berger, U. Sterilisation, Desinfektion und Hygiene in
 der zahnärztlichen Praxis.
 München - Berlin 1954
- Berger, U. Ausgewählte Kapitel der Desinfektion und Ste-
 rilisation.
 D. Dtsch. Zahnärzteblatt 14, 389-394; 1960
- Bohlmann, A. Untersuchungen zur Spannung bei Bearbeitung
 der Zahnhartsubstanz mit umlaufenden Werkzeu-
 gen in verschiedenen Drehzahlbereichen und
 unterschiedlicher Vorschubkraft.
 Med. Inaug. Diss., Berlin 1961

- 9) Bonsack, Ch. Th. Das Bohren.
Deutscher Zahnärztekalendar 14, 112-130; 1955
- 10) Bonsack, Ch. Th. Das Schleifen.
Deutscher Zahnärztekalendar 15, 79-104; 1956
- 11) Claessens, C.P.D. Hartmetallbohrer
D. Dtsch. Zahnärztebl. 12, 576-582; 1958
- 12) Claessens, C.P.D. Welche ist beim Bohren und Schleifen die ideale Tourenzahl?
D. Dtsch. Zahnärzteblatt 15, 126-132; 1961
- 13) Drendel und
Zweiling Planmäßiges Schleifen und Präparieren
Teltow / Berlin, 1938
- 14) Drum, W. Über spanabhebende Formung in der Zahnheilkunde.
Zahnärztl. Rdsch. 61, 136-138; 1952
- 15) Eichner, K. Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen über das hoch- und höchsttourige Bohren und Schleifen.
Dt. zahnärztl. Z. 15, 192-209; 1960
- 16) Eichner, K. Untersuchungen zum hochtourigen Bohren und Schleifen.
Dt. zahnärztl. Z. 14, 591-600; 1959
- 17) Fezer, K. H. Die Körnung der Airotor-Diamanten.
Quintessenz 11, Referat 1412; 1960
- 18) Fezer, K. H. u.
Schray K. Die Kavitätenwände nach der Präparation mit dem Borden Airotor
Quintessenz 10, Ref. 1204; 1959
- 19) Fuhr, K. Hoch- und höchsttouriges Präparieren in der Zahnheilkunde.
Habilitationsschrift Mainz 1963; im Druck

- Gärtner, D. Vergleichende Untersuchungen zum Bohren und Schleifen mit höchsten Drehzahlen (Borden-Airotor).
Med. Inaug. Diss., Berlin 1960
- Gassmus, G. Experimentelle Untersuchungen über zahnärztliche Hartmetallbohrer.
Med. Inaug. Diss., Mainz 1953
- Gewalt, R. Neuere Methoden der Kaltsterilisation.
Med. Inaug. Diss., Mainz 1956
- Gewalt, R. u.
Harnisch H. Sterilisation zahnärztlicher Instrumente durch Äthylenoxyd.
Dt. zahnärztl. Z. 15, 1449-1453; 1960
- Herrmann, M. Bohren und Schleifen mit hohen Tourenzahlen.
Zahnärztl. Welt / Ref. 59, 39-43; 1958
- Hinnüber, J. Die Eigenschaften der Hartmetalle und ihr Einfluß auf Werkzeugherstellung und -anwendung.
Z. VDI, 92, 111-117; 1950
- Hirschfeld, E. Hartmetalle
Schweizer Druck- und Verlagshaus AG,
Zürich 1950
- Huettig, G. F. Zusammenfassende Mitteilung über den Verlauf chemischer Vorgänge, an dem feste Stoffe beteiligt sind.
Kolloid-Zeitschrift 98, 273; 1942
- Hupfer, M. Vergleichende Untersuchungen zwischen Diamantschleifkörpern, Hartmetall- und Stahlbohrern.
Med. Inaug. Diss., Mainz 1953
- Isenberg, A. Die geschichtliche Entwicklung und die wirtschaftliche Bedeutung des Hartmetalls in Deutschland.
Inaug. Diss. Köln 1957

- 30) Kieffer, R. u. Sintereisen und Sinterstahl
Hotop, W. Wien 1948
- 31) Kieffer, R. u. Hartstoffe und Hartmetalle
Schwarzkopf, P. Wien 1953
- 32) Kluczka, J. u. Zur Frage der Sterilisation von Hand- und
Gewalt, R. Winkelstücken unter besonderer Berücksich-
tigung der Turbinenwinkelstücke mittels des
Sterivit-Verfahrens.
Zahnärztl. Welt / Ref. 62, 610-613; 1961
- 33) Koller, S. Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse.
Hoppe-Seyler / Thierfelder, Handbuch der phy-
siologisch- und pathologisch- chemischen Ana-
lyse. Band II
Bln., Gttg., Hdlbg. 1955
- 34) Kruehl, Ph. Grundlegende Erkenntnisse über das Schleifen
von Hartstoffen.
Inaug. Diss. TH Braunschweig 1935
- 35) Krumholz, R. Experimentelle Untersuchungen über die Wirk-
samkeit verschiedener dentaler Schleifkörper.
Inaug. Diss., Marburg 1955
- 36) Krumholz, R. u. Experimentelle Untersuchungen über die Wirk-
Martin, R. samkeit verschiedener dentaler Schleifkörper.
D. Dtsch. Zahnärzteblatt 9, 547-549; 1955
- 37) Küsters, K. Temperaturen im Schneidkeil spanender Werk-
zeuge.
Industrie-Anzeiger 89, 40; 1956
- 38) Mallebré, C. Der zahnärztl. Stahlbohrer und seine Arbeits-
weise unter besonderer Berücksichtigung der
Wärmeentwicklung, untersucht an einem neuen
Bohrerprüfgerät.
Med. Inaug. Diss. Mainz 1954

- 39) Mentler, E. Vergleichende Untersuchungen über die unterschiedliche Wirksamkeit zahnärztlicher Bohrer verschiedener Fabrikate.
Med. Inaug. Diss., Mainz 1955
- 40) Müller, O. Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Wassermenge auf die Schleifleistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper.
Med. Inaug. Diss., Mainz 1956
- 41) Nitsche, R. u. Kunststoffe, I. u. II. Band
Wolf, K. A. Praktische Kunststoffprüfung
Bln., Gttg., Hdlbg. 1961
- 42) Osborn, J., Tungsten-Carbid
Anderson, J. N., British Dental Journal, H. 9, 1.5.1951
Lammie G. A.
- 43) Ostermann, G. Neuere Erkenntnisse über die Ursachen des Verschleisses auf der Spanfläche von Hartmetall-Drehwerkzeugen.
Diss. TH Aachen 1960
- 44) Pfanzagl, J. Allgemeine Methodenlehre der Statistik
Sammlung Göschen, Berlin 1962
- 5) Rauen, H. M. Biochemisches Taschenbuch
Bln., Gttg., Hdlbg. 1956
- 6) Rießner, F. E. Notwendigkeit und Möglichkeiten der Sterilisation in der zahnärztlichen Praxis.
Dt. zahnärztl. Zeitschrift, 6, 1061-1067; 1951
- 7) Sängler, G. Experimentelle Untersuchungen über die Streuung der Schleifleistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper.
Med. Inaug. Diss. Mainz 1955
- 8) Sauerwein, E. Desinfektion und Sterilisation in der zahnärztlichen Praxis.
Dt. zahnärztl. Zeitschrift, 5, 281-290; 1950

- 49) Schiller, F. u. Praktische Ergebnisse mit Hartmetallbohrern
 Wlcek, F. Ö. Zschr. Stomat. 52, 535-540; 1955
- 50) Schiller, F. u. Praktische Ergebnisse mit Hartmetallbohrern
 Wlcek, F. Ö. Zschr. Stomat. 53, 412-415; 1956
- 51) Schiller, F. u. Praktische Ergebnisse mit Hartmetallbohrern
 Wlcek, F. Ö. Zschr. Stomat. 54, 466-468; 1957
- 52) Schmidt, W. Über den Verschleiß, die Standzeit und den
 Standweg von Hartmetallwerkzeugen beim Drehen
 von Gestein.
 Diss. Clausthal 1959
- 53) Schwartz, K. E. Zerspanungsablauf und Schleifergebnis beim
 Außenrundschleifen.
 Diss. TH Aachen 1959
- 54) Stroh, W. Schleifleistung zahnärztlicher Diamanten bei
 hohen und höchsten Umdrehungen.
 Med. Inaug. Diss. Berlin 1959
- 55) Thiel, K. Experimentelle Untersuchungen über die Ab-
 hängigkeit der Leistung zahnärztlicher Dia-
 mantschleifkörper von Umdrehungsgeschwindig-
 keit und Druck.
 Med. Inaug. Diss. Mainz 1956
- 56) Wallau, G. Vergleichende Untersuchungen über die Tempera-
 turenentwicklung beim Schleifen mit zahnärztli-
 chen Diamanten in Abhängigkeit von Tourenzahl
 und Druck.
 Med. Inaug. Diss. Mainz 1957
- 57) Walser, G. Experimentell physikalische Untersuchungen
 über das Bohren und Schleifen mit turbinenge-
 triebenen Instrumenten bei höchster Drehzahl.
 Zahnärztl. Welt / Ref. 61, 107-111; 1960

b) Weber, K. H.

Zur Frage der Schädigung des zahnärztlichen Instrumentariums durch physikalische Sterilisationsverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Injektionsnadeln, Wurzelkanalinstrumente und Bohrer.

Med. Inaug. Diss. Tübingen 1954

Lebenslauf

Am 1. April 1938 wurde ich als dritter Sohn der Eheleute Dr. Erwin Hofmann (Seminardirektor) und seiner Ehefrau Anna, geb. Michel, in Worms (Rhein) geboren. In Gundheim bei Worms, dem Wohnort meiner Eltern, besuchte ich von 1944 bis 1948 die Volksschule. 1948 trat ich in das Alt-sprachliche Gymnasium in Worms ein, wo ich 1957 mein Abitur bestand.

Ich entschied mich dann für das Studium der Zahnheilkunde, studierte in Würzburg, München und Mainz, wo ich im SS 1962 mein Staatsexamen ablegte.

Im WS 1962/63 und SS 1963 beschäftigte ich mich mit der Abfassung meiner Doktorarbeit.

Am Schluß möchte ich Herrn Prof. Dr. J. Kluczka für die Überlassung des Themas und die Übernahme der Arbeit danken.

Herrn Dr. K. Fuhr gilt mein besonderer Dank für seine erfahrene Beratung und seine allzeit bereitete Hilfe.

Herrn Prof. Dr. S. Koller und seinen Assistenten, Dr. Lange und Dr. Dudeck, möchte ich danken für die freundliche Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Am Schluß möchte ich Herrn Prof. Dr. J. Kluczka für die Überlassung des Themas und die Übernahme der Arbeit danken.

Herrn Dr. K. Fuhr gilt mein besonderer Dank für seine erfahrene Beratung und seine allzeit bereitete Hilfe.

Herrn Prof. Dr. S. Koller und seinen Assistenten, Dr. Lange und Dr. Dudeck, möchte ich danken für die freundliche Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Gesamtherstellung: **DIE REPROGRAFIE** · Karl Mayer KG.
Stuttgart N Friedrichstraße 45